RIDTEC - Vol.7, No. 1, Noviembre 2011 ISSN 1860-8894
Edición Semestral

I + D Tecnológico

Revista de investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá

www.utp.ac.pa

ISSN 1680-8894

REVISTA DE I + D TECNOLÓGICO

VOLUMEN 7, No. 1 • EDICIÓN SEMESTRAL • 2011

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

RECTORA
Ing. Marcela Paredes de Vásquez

VICERRECTOR ACADÉMICO
Ing. Luis Barahona G.

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, POSTGRADO Y EXTENSIÓN
Dr. Martín Candanedo G.

VICERRECTORA ADMINISTRATIVA
Ing. Myriam González B.

SECRETARIO GENERAL
Lic. Jeremías Herrera D.

Correspondencia para suscripciones y/o canje:
Universidad Tecnológica de Panamá
Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión
Apartado Postal: 0819-07289
Panamá, República de Panamá
E-mail: direccion.investigacion@utp.ac.pa

Edición aprobada por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión de la Universidad Tecnológica de Panamá

Medio de Divulgación Oficial de las investigaciones de la Universidad Tecnológica de Panamá
CIPE No. 07-98 del 7 de octubre de 1998

REVISTA DE I + D TECNOLÓGICO

Volumen 7, Número 1 Edición Semestral, Noviembre 2011
ISSN 1680-8894

DIRECTOR DEL COMITÉ EDITORIAL
Dr. Ignacio Chang, Dirección de Investigación[1]

COMITÉ EDITORIAL
Dr. Carlos Medina, Facultad de Ingeniería Eléctrica[1]
Dr. César Peña, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación de Automatización y Control[2]
Dr. Humberto Álvarez, Facultad de Ingeniería Industrial[1]
Dr. Jaime Estrella, Dirección de Investigación y Desarrollo (I+D)[3]
Dr. Oscar Ramírez, Facultad de Ingeniería Civil[1]
Dr. Ramfis Miguelena, Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales[1]
Dr. Roberto Pérez Franco, Centro de Transporte y Logística, División de Sistemas de Ingeniería[4]
Dr. Wedleys Tejedor, Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales[1]

Arte y Diseño: Dirección de Comunicación Estratégica[1]
Corrección y Estilo: Dirección de Comunicación Estratégica[1]
Coordinación y Logística: Ing. Eduardo Caballero, Dirección de Investigación[1]

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá
600 ejemplares
Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Copy Right
© Derechos Reservados UTP

1 Universidad Tecnológica de Panamá
2 Universidad de Pamplona, Colombia
3 Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), Panamá
4 Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), EEUU

CONTENIDO

Participación de estudiantes de escuelas primarias en el proceso de muestreo climatológico en la Ciudad de Panamá. . . . . 5 - 11
A. Román; J. Fábrega

Incidencia del curso de Pre-cálculo en el desempeño en Cálculo I para estudiantes de primer ingreso de la Universidad Tecnológica de Panamá. . . . 13 - 30
N. Miller, A. Hernández

Propuesta de una Metodología Estructurada para la Ejecución de Proyectos de Construcción Públicos. . . . . 31 - 40
G. Rodríguez

Láminas Galvanizadas y Prepintadas. Evaluación de su comportamiento en tres sitios de exposición atmosférica ubicados en el antiguo Fuerte Sherman en Colón. . . . . 41 - 51
L. De Gracia; E. Escobar

Alarm tree analysis using statistical techniques. 53- 59
O. Aizpurúa; H. Álvarez; R. Galán; A. Jiménez; A. Romero

Analysis of the Effectiveness on Reducing Welding Distortion of a Low Transformation Temperature Weld Wire. . . . . 61 - 69
A. Vega; H. Murakawa; D. Dye; M. Béres

La Revista de I+D Tecnológico está registrada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal ***(http://www.latindex.unam.mx/)***

Presentación

La Universidad Tecnológica de Panamá fomenta la investigación como elemento fundamental para generar conocimientos que beneficien a la sociedad y como un pilar en la formación de los profesionales que nuestro país necesita para enfrentar los retos que se le presentan.

Consideramos prioritario, dentro de nuestra misión, el transferir estos conocimientos a toda la comunidad para que puedan hacer el mejor uso de ellos.

Es por esto que, presentamos con mucha satisfacción el Volumen N°.7 de nuestra Revista de I+D Tecnológico en su primer número. En esta edición, se incluyen investigaciones que son de utilidad tanto para el sector público, como para el sector privado.

Para los interesados en la promoción de vocaciones científicas, entre los más jóvenes, recomendamos el artículo de la Ing. Román y el Dr. Fábrega sobre la participación de estudiantes de escuelas primarias en el proceso de muestreo climatológico.

En el campo de la educación superior, este número incluye la investigación de la Dra. Miller y el Mgter. Hernández, sobre la Incidencia del Curso de Pre-Cálculo en el desempeño de Cálculo I, para estudiantes de primer ingreso.

De interés, para la Administración Pública, está la propuesta de metodología estructural para la ejecución de Proyectos de Construcción Públicos de la doctoranda Gisela Rodríguez. De provecho, para el Sector Industrial, están las investigaciones en Láminas Galvanizadas y Prepintadas de la Ing. De Gracia y el Ing. Escobar; la investigación en Análisis de Árbol de Alarmas de los doctores Aizpurúa, Álvarez, Galán, Jiménez y Romero; y, finalmente, la investigación en la Reducción de Distorsión en las Soldaduras de los doctores Vega, Murakawa, Dye, y Béres; éstas dos últimas en inglés.

Esperamos que el contenido presentado resulte valioso para sus lectores.

Marcela Paredes de Vásquez
Rectora

Panamá, noviembre de 2011

Participación de estudiantes de escuelas primarias en el proceso de muestreo climatológico en la Ciudad de Panamá

Ing. Anelly A. Román Broce
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas
anelly.roman@utp.ac.pa

Dr. José R. Fábrega Duque
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas
jose.fabrega@utp.ac.pa

Resumen- *Esta investigación representa el primer paso en el desarrollo de una metodología que permita complementar la información meteorológica recolectada en la Ciudad de Panamá, con el aporte de centros educativos. Este trabajo se enmarcó en la ciudad de Panamá y empleó datos meteorológicos recolectados durante el año 2007 por niños de 4to a 6to grado (9-11 años) de forma puntual en 9 escuelas primarias, así como datos recolectados en tres estaciones meteorológicas automáticas de referencia. La información mostrada incluye temperatura promedio, humedad relativa promedio, y velocidad máxima del viento. Se comparan las variables tomadas en las escuelas con los valores de las estaciones de referencia. El análisis de estos resultados muestra que la diferencia de los valores entre estos grupos (escuelas vs referencia) aumenta al incrementar la distancia entre estos.*

Palabras Claves- *Estaciones meteorológicas, escuelas primarias, meteorología, educación en ciencias, clima.*

Abstract- *This research represents the first step in the development of a methodology that allows the meteorological data collected at Panama City, to be complemented with the input of elementary schools. This work was done within Panama City, and it used meteorological data collected during the year 2007 by fourth to sixth graders (9-11 years old) at 9 elementary schools, and data collected by three reference stations. The information shown includes mean temperature, mean relative humidity, and maximum wind velocity. Results of these variables measured at schools are compared with values obtained from the reference stations. The analysis of these results shows that the difference in values between these groups (schools and reference stations) is affected by the distance among them.*

Keywords- *Weather station, elementary schools, meteorology, science education and climate.*

Tipo de Artículo: *Original*
Fecha de Recepción: *31 de enero de 2011*
Fecha de Aceptación: *2 de junio de 2011*

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los estudios sobre las variaciones climáticas y su influencia sobre el desarrollo de la vida en la Tierra radica en el hecho de que entre estos (clima y vida) se desenvuelven un sinfín de relaciones causa-efecto que resultan en consecuencias para ambos. (1)

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC en inglés), en su II Informe (1995) reconoció la influencia humana en el calentamiento global, con el aumento de la temperatura en las capas bajas de la atmósfera. Ya para el año 2007 en su cuarto informe, el IPCC señala la existencia de un incremento en la frecuencia de precipitaciones más fuertes. (2)

Los estudios meteorológicos en Panamá se iniciaron en el año 1861 con la instalación del primer pluviómetro en la Bahía de Panamá como parte de las investigaciones para la construcción del Canal de Panamá (3). A través de un largo recorrido en la evolución de estas investigaciones en el país, en el año 1997, luego de la privatización del Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, la Gerencia de Hidrometeorología (HIDROMET) de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S. A., toma por ley la responsabilidad de expandir, operar, mantener y prestar los servicios relacionados a la Red Nacional de Meteorología e Hidrología.

Esta labor conlleva un alto costo en tiempo y recursos, además de otros obstáculos como la falta de personal, lo disperso de las estaciones meteorológicas, el vandalismo, y el alto costo de equipos confiables y su mantenimiento. Aunado a esto, se ha incrementado la necesidad de recolectar más información meteorológica para el desarrollo de proyectos de monitoreo y alerta temprana. Una manera de lograr colectar los datos meteorológicos necesarios, es a través de proyectos que involucren a las comunidades

duante su ejecución, como es el caso de la Red estatal para la transformación educativa de Michoacán - México quienes buscan implementar proyectos que integren a la comunidad de aprendizaje a las nuevas tecnologías de beneficio común. Este proyecto incluye la instalación de una estación meteorológica para monitoreo atmosférico e integrándola al programa internacional de investigación y educación ambiental GLOBE, para así mismo investigar y capacitar a los educandos de diferentes niveles educativos, fomentando la formación de investigadores de los fenómenos naturales. (4)

Dentro de las comunidades, los centros de enseñanza brindan un sitio ideal para integrar eficientemente a las comunidades a través de los niños, quienes pueden desempeñarse junto con sus maestros como entes multiplicadores de conocimientos y acción.

De allí, que tanto a nivel internacional como nacional se hayan hecho esfuerzos en este sentido. A nivel internacional, se pueden mencionar los programas GLOBE y KidSmart (5 -6). De estos proyectos, GLOBE tiene una presencia en Panamá. En el año 2008, 71 centros escolares a nivel nacional habían sido inscritos en este programa, sobre todo en áreas de alta vulnerabilidad y riesgo ambiental. Sin embargo, actualmente, el número de participantes activos ha disminuido entre otras razones por la falta de incentivos de participación y traslado de personal capacitado (7).

Igualmente, a nivel nacional, ETESA inició en el año 2006 el Proyecto Lluvia, fuente de vida, el cual consiste en la instalación de pluviómetros tipo Hellmann en diversas escuelas de la provincia de Panamá, para la medición manual una vez al día de esta variable meteorológica. Para el año 2008 participaban 10 escuelas.

Finalmente, en el año 2006, el Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la **Universidad Tecnológica de Panamá** inició el Proyecto "Clima y Niñez: Medición de variables meteorológicas simples como experiencia motivadora para el aprendizaje de las ciencias en escuelas primarias". Este proyecto se enfocó en la medición de parámetros meteorológicos básicos como: temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad de viento, y nubosidad para niños entre cuarto y sexto grado en escuelas del área metropolitana de la Ciudad de Panamá (Distritos de Panamá y San Miguelito) (9).

El trabajo presentado en este artículo tiene como objetivo verificar los resultados de los datos recolectados durante el desarrollo del Proyecto Clima y Niñez, a través de la comparación de estos datos con mediciones obtenidas en estaciones de referencia instaladas en el área de estudio. Se busca analizar una metodología alternativa que permita complementar la información meteorológica que se recolecta actualmente en la Ciudad de Panamá mediante la integración de las comunidades y empleando los centros educativos como caso de estudio.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El Proyecto Clima y Niñez se enfocó en la medición de parámetros meteorológicos básicos como temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y nubosidad, por parte de niños de 4to a 6to grado (9-11 años) de forma puntual en escuelas primarias, y su posterior comparación con datos recolectados en estaciones meteorológicas automáticas de referencia.

Para la obtención de estas variables, durante el año escolar 2007 se instalaron en las escuelas estaciones meteorológicas marca Oregon Scientific WMR968. Los estudiantes debieron obtener la información a partir de la consola del equipo y anotarlas en hojas especialmente diseñadas para tal fin. Adicionalmente, se instalaron tres estaciones meteorológicas marca Davis Vantage Pro utilizadas como estaciones de referencia, por ser equipos de medición más robustos, y con la capacidad de almacenar datos. Este trabajo se concibió como una investigación aplicada en las áreas de la meteorología y de la educación de las ciencias. Pora zones de

logística, se limitó el número de escuelas participantes a 19 (Ver figura 1) de un total de 60 consideradas, dentro del área metropolitana (distritos de Panamá y San Miguelito) (9). La escogencia de las escuelas se basó principalmente en los siguientes aspectos: localización geográfica, interés de las autoridades de la misma, seguridad, facilidad de instalación, y número de estudiantes. Como una forma de asegurar, una homogeneidad en los criterios de lectura y anotación de datos por parte de los niños participantes, se dictó una capcitación a los docentes coordinadores del proyecto de los planteles participantes previo al inicio del período escolar. Esta capacitación tuvo una duración de seis horas, cubriendo temas como: generalidades del proyecto, conceptos de meteorología, observaciones diarias, el equipo instalado, utilización de la consola, cuidados, mantenimiento y actividades a realizar con los niños. En este mismo sentido, una vez iniciado el período escolar 2007, se dictó un taller de dos horas en cada plantel donde se afianzó la utilización del equipo en grupos compuestos por los docentes previamente capacitados, docentes recién integrados al proyecto y sus respectivos estudiantes.

Los datos recolectados, se introdujeron en bases de datos que permitieron el estudio y selección de las variables y períodos a utilizar. El análisis realizado de los datos recolectados por las escuelas nos permitió seleccionar los datos correspondientes a los meses de mayo a octubre del año 2007, pues de esta forma se cumplía con los requisitos de contar con cinco meses o más de datos continuos y presentar registros con más de dos mediciones diarias. Estos requisitos fueron fijados con el fin de lograr la uniformidad y evitar trabajar con datos faltantes. Las variables consideradas fueron los valores para las variables temperatura promedio mensual, humedad relativa promedio mensual y velocidad del viento máximo mensual para las nueve escuelas que aprobaron los criterios de selección. máximo mensual para las nueve escuelas que aprobaron los criterios de selección.

3. RESULTADOS

La información recolectada permitió, confeccionar un mapa para cada variable y mes,

Figura 1. Localización de las 19 escuelas participantes en el proyecto Clima y Niñez. Datos de todas estas escuelas, a excepción de Belisario Porras, fueron empleados en este trabajo.

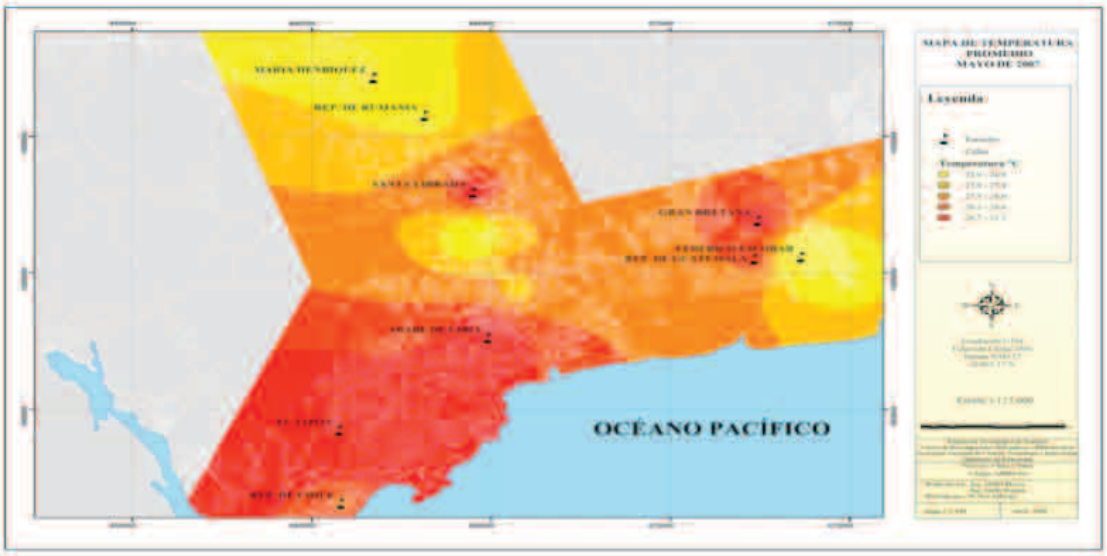


Figura 2. Mapa de distribución de la temperatura promedio para el mes de mayo de 2007. Este es uno de los 18 mapas confeccionados con los valores recolectados por los estudiantes de las nueve escuelas seleccionadas, y en él se observa la variación de la temperatura promedio registrada.

con el fin de incentivar a los estudiantes a continuar su trabajo a través de una muestra gráica del fruto del esfuerzo realizado. Un ejemplo de estos mapas se muestra en la Figura 2. Después de completar esta fase, se tabuló la distancia de cada una de estas 9 escuelas con respecto a las tres estaciones de referencia, con el fin de lograr la distribución en tres regiones de estudio, una para cada estación de referencia. En la Tabla 1 se muestra la comparación de las distancias entre las estaciones de referencia y las estaciones de estudio.

En base a los datos mostrados en la Tabla 1, se decidió trabajar con las tres estaciones más cercanas a la estación de referencia correspondiente, dando por resultado los siguientes grupos:

- Región Panamá Este: Formada por las escuelas Gran Bretaña, Federico Escobar y República de Guatemala comparadas con la estación del C.I.H.H. ubicada en la sede Tocumen de la U.T.P. Tiene una distancia promedio a la estación de 2.93Km.
- Región Panamá Centro: Formada por las escuelas Árabe de Libia, El Japón y República de Chile comparadas con la estación ubicada en El Dorado. Tiene una distancia promedio a la estación de 3.58 Km.
- Región San Miguelito: Formada por las escuelas María Henríquez, República de Rumania y Santa Librada comparadas con la estación de referencia ubicada en Las Cumbres. Tiene una distancia promedio a la estación de 4.71Km.

Con la información para estas nueve estaciones, agrupadas en tres regiones, se confeccionaron gráficas donde se comparan el promedio de las mediciones de las tres estaciones de estudio con respecto a su estación de referencia. En la Figura 3 se comparan las gráficas correspondientes a la temperatura promedio de las regiones Panamá Este y San Miguelito, para los seis meses tomados en cuenta en este estudio. Durante este período, los datos observados fueron analizados empleando como función objetiva para la comparación de las diferencias de resultados entre las estaciones en las escuelas y las estaciones de referencia la varianza, la cual se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$Varianza = \frac{\sum_{j=1}^{j=n}(V_{ref} - V_{est})^2}{n} \quad (1)$$

donde *varianza* es el promedio de la suma de los

residuos al cuadrado, n es el número de datos estudiados para la región, V_{ref} y V_{est} es el dato correspondiente a la estación de referencia y al promedio de las estaciones de estudio (escuelas), respectivamente. De lo anterior, se asume una mayor precisión por parte de las estaciones marca Davis empleadas de referencia que las estaciones marca Oregon. Al emplear esta metodología se observa que los resultados más cónsonos a las estaciones de referencia ocurren en los valores mínimos de varianza (10).

En la tabla 2, se muestra el resultado obtenido aplicando la ecuación (1) en la base de datos bajo estudio.

En esta tabla se comparan los valores para la varianza obtenida para cada variable, correspondiente a cada una de las regiones estudiadas. Obsérvese que esta aumenta con el aumento de distancia promedio a la estación de referencia. Esta tabla no cuenta con resultados para la variable humedad relativa promedio en la región Panamá Centro debido a problemas en la programación del equipo.

Adicional a la data meteorológica obtenida, durante este proyecto los docentes desarrollaron actividades que permitieron la integración de los nuevos conocimientos tales como laboratorios en la asignatura ciencias naturales, prácticas con operaciones matemáticas y confección de gráficas numéricas de los datos recolectados, desarrollo de vocabularios, cuestionarios y dípticos en la asignatura Español, entre otras.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la tabla 2, parecen indicar una tendencia marcada de las estaciones instaladas en las escuelas a acercarse a los valores de las estaciones de referencia como función de la proximidad a estas. Esta observación se basa tal como se presentó en la sección anterior en la utilización de la varianza como función objeto, lo cual brinda dos beneficios importantes: i) al incluir esta ecuación en el cálculo de residuos, se obtiene una idea de la dispersión de las observaciones individuales alrededor del promedio (a menor valor absoluto de los residuos se presenta una menor dispersión de los datos estudiados (11)); y ii) esta expresión incluye la suma de los residuos al cuadrado (SRC), con la cual se evitan errores en la determinación de la dispersión, dado que no habrá cancelación de residuos por razones de dualidad de signos.

Del desarrollo de esta investigación se determinó que al aumentar la distancia entre las estaciones ubicadas en las escuelas con respecto a las estaciones de referencia, aumentó el error de las mediciones expresadas a través del valor de la varianza de los datos brindados por las escuelas y las estaciones empleadas como referencia. Esto es, se obtienen valores más cónsonos para los mínimos de varianza mostrada.

Tabla 1. Comparación de la distancia entre las estaciones de estudio y las estaciones de referencia.

Ubicación de la estación escolar	Distancia a la estación de referencia (Km)		
	El Dorado	Las Cumbres	CIHH*
El Japón	2.20	14.50	16.50
República de Chile	4.90	17.15	18.00
Al-Yamahiria Árabe de Libia	3.65	12.10	11.30
María Henríquez	10.80	2.40	14.15
República de Rumania	9.50	4.40	12.35
Santa Librada	7.25	7.35	10.60
Gran Bretaña	12.20	14.25	2.80
Federico Escobar	12.80	15.95	2.50
República de Guatemala	11.55	14.90	3.50

CIHH: Centro de Investigaciones Hidráulicas.

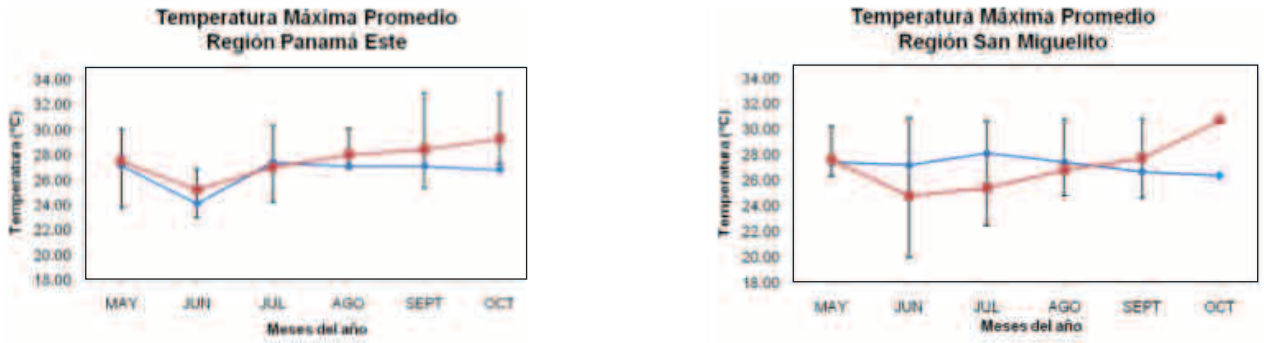


Figura 3. Gráficos comparativos de temperatura máxima promedio para dos regiones. La línea roja indica el promedio de las mediciones hechas por los niños del estudio, la línea azul indica la medición de la estación de referencia y las barras negras indican el Rango de Observaciones de las mediciones de las estaciones de estudio ubicadas en las escuelas.

Tabla 2. Varianza para cada una de las variables y regiones comparadas.

Variable	**Varianza para cada región**		
	Región San Miguelito	Región Panamá Centro	Región Panamá Este
Temperatura Máxima Promedio	13.81	12.26	7.57
Humedad Relativa Promedio	467.65	N/D	278.72
Velocidad Máxima del Viento	17.07	15.28	4.72
Distancia Promedio a la Estación de Referencia	4.71 km	3.58 km	2.93 km

N/D = no hay datos

Las estaciones instaladas como referencia, al ser más robustas contaban con sensores mucho más sensibles, brindando un mayor aporte en la precisión de los datos en comparación con las estaciones escolares. Esta diferencia entre las estaciones pudo afectar los resultados. Sin embargo, no fue tomada en cuenta para este estudio debido a que se buscaba ensayar una metodología que motivara a los estudiantes a desarrollar actividades relacionadas a la ciencia. Para este caso, se logró la interacción con una estación meteorológica sencilla, realizar experiencias de laboratorio relacionadas al equipo instalado, realizar actividades y presentaciones en el aula sobre los nuevos temas en asignaturas como ciencias naturales, matemáticas, español e inglés obteniendo como valor agregado información meteorológica que pudiera ser utilizada por la comunidad científica.

En cuanto a la información recolectada durante este estudio, ésta es solamente válida como referencia para el establecimiento de nuevos proyectos meteorológicos, debido a que la información la recolectaron los estudiantes y que por motivos de seguridad del equipo la instalación no siguieron de forma rigurosa los criterios de la Organización Meteorológica Mundial para la instalación de las estaciones meteorológicas (12). Por ejemplo, en la escuela Gran Bretaña la estación meteorológica se instaló en un tubo de acero anclado a una de las vigas de techo de uno de sus pabellones (el más alto); obligando a que esta estación quedara instalada sobre el patio interno del plantel con el fin de protegerla del vandalismo. Para este caso la proximidad al techo pudo incrementar la temperatura registrada a la vez que los datos de velocidad y dirección del viento se pudieron ver afectados por la ubicación de la estación en relación con la distribución de los edificios del plantel.

5. CONCLUSIÓN

De establecer pautas científicas de más rigor en la ejecución de proyectos como "Clima y

Niñez", la información obtenida puede ser utilizada para identificar tendencias en el comportamiento de las variables meteorológicas estudiadas y apoyar al establecimiento e instalación de un sistema de alerta temprana a través de la instalación de estaciones meteorológicas que permitan el monitoreo en una zona delimitada. A la vez que se tiene a favor la inclusión de los jóvenes en un estudio científico con amplios beneficios para la comunidad en que viven.

Al comparar los datos de las estaciones de las escuelas con los datos de las estaciones de referencia se observa una tendencia al aumento en las diferencias de los mismos, expresado por la suma de los residuos al cuadrado (SRC) con el aumento de la distancia promedio a la estación de referencia. Este tipo de patrón puede ser un indicador que la cercanía de las estaciones a emplear es fundamental para obtener resultados más confiables.

Para estudios posteriores basados en proyectos similares, se recomienda instalar el mismo tipo de estaciones meteorológicas en todos los puntos de estudio y prestar una especial atención a las capacitaciones. Éstas deberán ser dirigidas tanto a docentes como a grupos mixtos de docentes y estudiantes con el fin de fortalecer la participación dentro del aula.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por el financiamiento brindado para el desarrollo de esta investigación, a través de la Propuesta EST08-049 A, dentro del Programa de Estímulo a Actividades de Ciencia y Tecnología, y de la propuesta APR06-016, dentro del programa de Innovación en el Aprendizaje de las Ciencias.

Al Ingeniero Erick Vallester, Director del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, quien junto a un excelente equipo de trabajo fue un apoyo incondicional y sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

Igualmente, se agradece a todos los directores, personal docente y niños participantes del Proyecto Clima y Niñez, cuyo esfuerzo permitió recolectar los datos que se presentan.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cabrera, A.P., "Calentamiento Global", Edición 1, pp. 34, 2003.

[2] Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2007 [en línea], http://www.ipcc.ch [Consulta: 2008].

[3] H.I.D.R.O.M.E.T. – E.T.E.S.A. Presentación oral "La importancia del estudio de los recursos hídricos en Panamá", Diplomado en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Universidad Tecnológica de Panamá. p.46, 2008.

[4] Oseguera Figueroa, L., Hernández Aguilar, A., "Metodología de proyectos en el nivel tecnológico superior para la integración de la comunidad de aprendizaje", VI Encuentro Iberoamericano de colectivos y redes de maestros/as que hacen investigación e innovación desde la escuela, 2011.

[5] KidSmart Early Learning Program, Guide to Early Learning & Technology for Home and School [En línea], http://www.kidsmartearlylearning.org/SP/home/about/about_2.htm [Consulta: 2008].

[6] Programa GLOBE, "Misión, Visión y Metas", [en línea], http://www.globe.gov/fsl/html/aboutglobe.cgi?vision&lang=es&nav=1 [Consulta: 2008].

[7] Comunicación personal con la Ing. Adilia O. de Pérez de la Dirección de Educación Ambiental, Ministerio de Educación, 2009.

[8] McGregor, Glenn & Nieuwolt, S. Tropical Climatology. Edición 2, Editorial John Wiley & Sons, Ltd., p. 339, 1998.

[9] Fábrega, J., Garibaldi, O., Román, A., Crespo, B., "Manual Para el Desarrollo del Proyecto Clima y Niñez: Medición de variables meteorológicas simples como experiencia motivadora para el estudio de las ciencias en escuelas primarias", pp. 60. 2008.

[10] Fábrega J., "Modelo de transferencia de fase de bases orgánicas en sistemas suelo-agua", Revista I+D Tecnológico, pp. 65-70, 2005.

[11] Matus, R. Hernández, Martha García, E. "Estadística", Instituto Politécnico Nacional, México, 2003.

[12] Román, Anelly, "Utilización de escuelas primarias como estaciones de muestreo climatológico en la ciudad de Panamá", Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica de Panamá, pp. 123, 2009.

Incidencia del curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I para estudiantes de primer ingreso de la Universidad Tecnológica de Panamá

Ana Cecilia Cedeño Cedeño
Universidad Tecnológica de Panamá
ana.cedeno@utp.ac.pa

Resumen—Este artículo describe los resultados de la investigación sobre la incidencia del curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I para estudiantes de primer ingreso de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se aplicó un diseño cuasi-experimental con grupo control y grupo experimental, utilizando el Inventario de Estrés Académico (SISCO) como instrumento de medición. Los resultados indican que el curso tiene un efecto significativo en la reducción de los niveles de estrés académico, especialmente en las dimensiones de síntomas físicos y psicológicos.

Palabras clave—Estrés académico, Psicología en el Desarrollo, Universidad Tecnológica de Panamá, estudiantes de primer ingreso, intervención psicológica.

I. INTRODUCCIÓN

El estrés académico es un fenómeno ampliamente reconocido que afecta a estudiantes de todos los niveles educativos. Para los estudiantes de primer ingreso a la universidad, la transición del bachillerato a la educación superior representa un cambio significativo en múltiples áreas de la vida, incluyendo la académica, social y personal. Este cambio puede generar altos niveles de estrés que, si no se manejan adecuadamente, pueden afectar el rendimiento académico, la salud física y mental, y la calidad de vida de los estudiantes.

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) ofrece el curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I como parte de su plan de estudios para estudiantes de primer ingreso. Este curso tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes herramientas para comprender y manejar el estrés académico. Sin embargo, hasta la fecha no se había realizado una evaluación sistemática de su efectividad.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la incidencia del curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I en los niveles de estrés académico de los estudiantes de primer ingreso de la UTP. Se espera que los resultados proporcionen información valiosa para la mejora continua del curso y para la implementación de programas similares en otras universidades.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño cuasi-experimental con grupo control y grupo experimental, con medición pre-test y post-test. Los estudiantes fueron asignados a los grupos según su sección de matrícula, ya que no fue posible realizar una asignación aleatoria debido a restricciones administrativas.

B. Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por todos los estudiantes de primer ingreso matriculados en el curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I durante el primer semestre académico. La muestra final estuvo compuesta por 120 estudiantes, distribuidos en 60 para el grupo experimental y 60 para el grupo control.

C. Instrumento de medición

Se utilizó el Inventario de Estrés Académico (SISCO) para medir los niveles de estrés académico. Este instrumento consta de 31 ítems que evalúan tres dimensiones: síntomas físicos, síntomas psicológicos y síntomas comportamentales. Cada ítem se responde en una escala de frecuencia de 1 a 5, donde 1 = nunca y 5 = siempre.

D. Procedimiento

El pre-test se aplicó a ambos grupos durante la primera semana de clases. El grupo experimental recibió el curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I durante 16 semanas, con una sesión semanal de 2 horas. El grupo control no recibió ninguna intervención adicional. El post-test se aplicó a ambos grupos en la última semana de clases.

E. Análisis de datos

Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico SPSS versión 28. Se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Para comparar los grupos se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes. Se calculó el tamaño del efecto mediante la d de Cohen.

III. RESULTADOS

A. Descripción de la muestra

La muestra estuvo compuesta por 120 estudiantes, de los cuales 68 (56.7%) eran mujeres y 52 (43.3%) eran hombres. La edad promedio fue de 18.4 años (DE = 1.2). No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a sexo, edad o carrera de matrícula.

B. Niveles de estrés académico

Los resultados del pre-test indicaron que el 72% de los estudiantes presentaban niveles de estrés académico moderado o severo. En el post-test, este porcentaje se redujo al 45% en el grupo experimental, mientras que en el grupo control se mantuvo en el 70%.

C. Comparación entre grupos

La prueba t de Student para muestras independientes mostró que no existían diferencias significativas entre los grupos en el pre-test ($t(118) = 0.34$, $p = 0.734$). En el post-test, se encontró una diferencia significativa entre los grupos ($t(118) = 4.87$, $p < 0.001$), con un tamaño del efecto grande (d de Cohen = 0.89).

D. Dimensiones del estrés académico

En la dimensión de síntomas físicos, el grupo experimental mostró una reducción promedio de 1.2 puntos, mientras que el grupo control mostró una reducción de 0.3 puntos. En la dimensión de síntomas psicológicos, la reducción fue de 1.5 puntos en el grupo experimental y de 0.4 puntos en el grupo control. En la dimensión de síntomas comportamentales, la reducción fue de 1.1 puntos en el grupo experimental y de 0.2 puntos en el grupo control.

E. Satisfacción con el curso

El 85% de los estudiantes del grupo experimental calificaron el curso como útil o muy útil para manejar el estrés. El 78% recomendaría el curso a otros estudiantes de primer ingreso.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que el curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I tiene un efecto significativo en la reducción de los niveles de estrés académico de los estudiantes de primer ingreso. Este hallazgo es consistente con la literatura que sugiere que las intervenciones psicológicas estructuradas son efectivas para manejar el estrés en poblaciones estudiantiles.

La reducción más pronunciada en la dimensión de síntomas físicos podría deberse a que los estudiantes aprendieron técnicas de relajación y manejo del cuerpo que les permitieron reconocer y controlar mejor las manifestaciones físicas del estrés. La reducción en síntomas psicológicos y comportamentales también es importante, ya que estos pueden afectar el rendimiento académico y la adaptación a la vida universitaria.

Es importante destacar que el grupo control no mostró una reducción significativa, lo que sugiere que la mejora observada en el grupo experimental se debió a la intervención y no a factores externos como el paso del tiempo o la familiarización con el instrumento.

V. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que el curso de Psicología en el Desarrollo en Estrés I es una herramienta efectiva para reducir los niveles de estrés académico en estudiantes de primer ingreso de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se recomienda que el curso se mantenga y se amplíe su cobertura a más estudiantes.

Se sugiere también realizar estudios de seguimiento para evaluar la persistencia de los efectos a largo plazo y explorar la posibilidad de implementar versiones adaptadas del curso en otras facultades y centros regionales de la UTP.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad Tecnológica de Panamá por el apoyo financiero para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

[1] A. Barraza Macías, "Un cuestionario para medir el estrés académico," *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, vol. 10, no. 3, pp. 1–10, 2007.

[2] J. C. Sandín, P. Chorot, R. M. Santed, M. A. Valiente, y A. Joiner, "Estrés académico en estudiantes universitarios: Un estudio transversal," *Ansiedad y Estrés*, vol. 14, no. 2–3, pp. 205–219, 2008.

[3] M. Polo, E. López-Gómez, y J. E. Hernández, "Evaluación del estrés académico en estudiantes universitarios," *Revista de Psicología*, vol. 14, no. 1, pp. 45–62, 1996.

[4] R. Lazarus y S. Folkman, *Stress, Appraisal, and Coping*. New York: Springer, 1984.

[5] A. Bandura, *Self-efficacy: The Exercise of Control*. New York: W. H. Freeman, 1997.

Propuesta de una Metodología Estructurada para la Ejecución de Proyectos de Construcción Públicos

Ing. Gisela M. Rodríguez Jaramillo
Universidad Tecnológica de Panamá
Programa de Doctorado en Ingeniería de Proyectos
gisela.rodriguez@utp.ac.pa

Resumen- *En esta investigación se analizó el proceso actual seguido para realizar los proyectos de construcción en el sector público de la República de Panamá, desde el análisis de las necesidades y estudio de factibilidad, incluyendo los aspectos ambientales, hasta la elaboración técnica de los documentos para construir y el control de la construcción.*

Los resultados obtenidos manifestaron el hecho de que no existe una metodología para la ejecución de los proyectos en el sector público. Esta situación generó una serie de inconvenientes tales como: incrementos en los costos, alteración del presupuesto estatal, atrasos en la ejecución de las obras, controversias legales y afectación social.

Producto de esta investigación se propone una metodología estructurada para la ejecución de los proyectos de construcción, la cual contempla tres componentes técnicos básicos que son: reglamentación y contenido técnico del anteproyecto, técnicas para el desarrollo de los planos y controles en la ejecución de las obras.

Palabras Claves- *Construcción, costos, metodología, planos y tiempo.*

Abstract- *This study analyzes the current process followed by the Republic of Panama in conducting construction projects in the public sector from the need analysis and feasibility study--including its environmental aspects--to the preparation of the technical documentation required for construction and for construction control.*

The results have indicated that there is no methodology for the implementation of projects in the public sector. This situation has led to a number of drawbacks such as cost increments, changes of the State budget, delays in the construction project implementation, legal disputes, and social impact.

As a result of this research paper, we propose a structured methodology for the implementation of construction projects. This methodology includes three basic technical components: regulatory and technical content of the draft project, techniques for blueprint development, and controls for construction projects.

Tipo de Artículo: *Original*
Fecha de Recepción: *18 de noviembre de 2010*
Fecha de Aceptación: *2 de junio de 2011*

Keywords- *Construction, cost, methodology, plans and time.*

1. INTRODUCCIÓN

El estatus económico de la República de Panamá es propicio para que la luz del desarrollo ilumine nuestro suelo, debido a diferentes factores tales como: una industria naval sólida, una red de comunicaciones internacionales competitiva, un centro bancario de primera línea con gran proyección internacional, una posición geográfica excelente y una moneda estable, entre otros; condiciones que han abierto posibilidades muy significativas para que la inversión en proyectos de construcción con tecnología avanzada de primer mundo, se puedan realizar en Panamá de forma inmediata.

Este desarrollo ha originado un despliegue de beneficios en las comunidades, por el hecho de que se han construido y se construirán obras de infraestructuras y edificaciones de gran importancia tales como proyectos viales, transporte, vivienda, saneamiento, recreación, y turismo, los cuales benefician y mejoran la calidad de vida en las comunidades más alejadas y marginadas de la República, así como a los centros urbanos.

Las instituciones públicas contemplan entre sus directrices desarrollar los proyectos necesarios para mejorar la calidad de vida de la población, sin embargo, se ha detectado a través de documentación brindada por los Ministerios de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MIVI) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), que en la ejecución de los proyectos se han presentado sobrecostos en forma reiterada, confirmándose en el punto resultados y propuesta de este artículo. Esto se ha dado desde hace mucho tiempo, afectando el logro de los objetivos en materia de realización de estos proyectos, debido a la falta de

una Metodología aplicada a la construcción, la cual guíe la evolución de los proyectos desde su concepción hasta la puesta en marcha y operación de las obras en el sector público.

Al investigar el porqué de los atrasos que se generan en los proyectos de construcción con relación a los cambios en lo pactado y la generación de adendas, se detectó que la manera actual de ejecución de los proyectos desencadena una serie de inconvenientes al diseñar, al elaborar planos de construcción y en el control de la construcción; esto afecta la ejecución de los proyectos de inversión y deja muy mal el ejercicio de la profesión; tales anomalías, son responsables de los sobrecostos y los sobretiempos en los proyectos de construcción generando una problemática que va haciéndose cada vez más y más complicada, debido a que no existe una metodología estructurada para la ejecución de los proyectos de construcción en el Estado.

Este fenómeno no sólo ocurre en Panamá, también se manifiesta en otras partes del mundo, por ejemplo, en Omán, un país cercano a los Emiratos Árabes, donde se logró detectar a través de una investigación realizada [1] que no existen manuales ni metodología que guíen el diseño y construcción para los proyectos y así lograr eficiencia en las distintas actividades de la construcción, además cumplir los tiempos de ejecución, los costos presupuestados, construirse igual al diseño creado, ajustándose a costos estimados y la selección de una buena estrategia de competencia para las licitaciones; no se puede dejar de lado que un buen control en el proceso de construcción, es primordial para garantizar el cumplimiento de las fechas programadas en el calendario para la finalización de las obras. [2], [6] y [9].

Esta situación crea conflictos, pérdida de tiempo y costos adicionales. Además, es importante considerar en el proceso de construcción las condiciones climáticas para el establecimiento de tiempos en la ejecución de la obra. [3], [4] y [7].

Se ha revisado la guía que utiliza el PMI (Project Management Institute) denominada PMBOK (Project Management Body of Knowledge) [14], el cual es un método ordenado para administrar un proyecto; sin embargo, este no aborda el problema como se plantea en la Metodología para la Ejecución de Proyectos que se propone, que integra el saber de las ciencias de las diferentes disciplinas de la ingeniería, aplicadas al buen ejercicio profesional y por ende, al éxito en la ejecución de los proyectos de construcción.

Por lo anterior, con la finalidad de establecer una ruta para la ejecución de proyectos de construcción públicos, se presenta una Metodología que permite la integración de todos los elementos que participan en la ejecución de un proyecto de construcción en el sector público, obteniéndose un resultado eficiente porque se analizan todas las etapas por actividad dentro de un proyecto, garantizándose un resultado excelente en la ejecución y planificación, lo cual no existe hoy por hoy.

2. OBJETO DE ESTE TRABAJO

Aún cuando existe la disponibilidad del Estado por mejorar la calidad de vida de la población en general, se ha encontrado que una gran cantidad de proyectos no cumplen lo pactado en cuanto a que su concepción no se ajusta a: los requerimientos de un anteproyecto, unos planos bien elaborados y un control en la construcción riguroso y científico; esto perjudica la programación, en cuanto a lo presupuestado, al tiempo pactado y la atención a las necesidades de la comunidad. Además, se determinó que era necesario investigar la problemática que se genera al ejecutar los proyectos de construcción, debido entre otras situaciones a las grandes erogaciones que hay que hacer, todo esto por no contar con una metodología, sino una manera de ejecutar los proyectos; por ello, se planteó como punto determinante para el desarrollo de esta investigación, resolver el problema diseñando una metodología que permita saber, dónde y porqué se generan sobrecostos y adendas. El objetivo es entonces, presentar una propuesta Metodológica que guíe la ejecución de los proyectos de construcción en el sector público por el sendero de la eficiencia técnica y administrativa.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

De acuerdo a la literatura revisada, las principales causas de los retrasos y los sobrecostos en los proyectos de construcción son los cambios en lo pactado [1], [5] y [10]. Con esta

realidad existente no solo en Panamá, sino en otros países, la investigación trabajó con cuarenta expedientes obteniéndose información estadística en el MIVI de los dos últimos años (2008 y 2009) y de cinco años en el MOP (2005 al 2009), esta información recoge aspectos importantes del comportamiento en la ejecución de los proyectos como son: tipo de proyecto, refiriéndose a si es habitacional u obras viales, año de la contratación, monto del contrato, tiempo de ejecución de la obra, monto de la(s) adenda(s) de tiempo y costo para cada proyecto, así como informaciones sobre términos de la contratación. Esta información fue analizada minuciosamente, lo cual permitió seleccionar un caso típico en el MIVI consistente en un proyecto para la construcción de 300 casas, aprovechando las ventajas que ofrece la técnica de estudio de casos, que permite hacer un diagnóstico de la realidad del método utilizado y así detectar fallas en programas, normas, especificaciones, entre otros. [8].

De los expedientes se extrajo información para el caso seleccionado, reflejándose datos tales como: génesis de los proyectos, su necesidad inmediata, controles para su ejecución, licitaciones, adjudicaciones, aplicación de leyes y normas, el control ambiental y la ruta de ejecución utilizada en estos proyectos.

Además, se realizó un acercamiento con las unidades técnicas involucradas en la ejecución de proyectos de construcción en ambos Ministerios, en donde se intercambiaron impresiones técnicas relacionadas con proyectos en fase de diseño, proyectos en ejecución e inspección, así como la extracción de información en los expedientes que reposan en estos Ministerios.

En lo concerniente a la construcción de las 300 casas del Ministerio de Vivienda, utilizando la técnica de Estudio de Caso, el cual representa el estilo de ejecución de los proyectos en ese Ministerio, se detectó a través del análisis realizado, lo siguiente:

Para la construcción de las 300 casas, el Estado realizó tres contrataciones, que se muestran a continuación y no se tenía un plan maestro para el desarrollo de este proyecto:

En el primer contrato para el diseño de la infraestructura, se destacan los siguientes aspectos:

- El contratista recibió un anteproyecto, el cual se le cambió, antes de que él finalizara su diseño.
- Este contratista nunca entregó completo su trabajo, le hicieron falta el estudio de suelo y estudio hidrológico.
- El plano nunca se completó.

Respecto al segundo contrato para la construcción de la infraestructura, sobresalen los siguientes aspectos en su manera de ejecución:

- Se dio orden de proceder sin estar los planos de la infraestructura listos y sin la aprobación del estudio de impacto ambiental.
- Cuando el contratista inicia sus trabajos con planos incompletos, se encuentra con que la topografía suministrada no es la real en el terreno, por ello, se decide trabajar en campo mientras se corrigen los niveles de terracería. Esta situación genera sobrecostos en la construcción, además, de extensiones de tiempo y mal ejercicio de la profesión.
- Además, otro acto fuera del ejercicio de la profesión, es que el Municipio de Colón dio una autorización provisional para iniciar la construcción sin que los planos estuvieran aprobados.

En el tercer contrato que consiste en la construcción de las 300 viviendas, al contratista se le dio orden de proceder un mes después del contrato de la infraestructura de servicios básicos, la cual aún no estaba lista.

Dadas las situaciones expuestas, se pudo observar la problemática que se presenta, marcada por el hecho de que el primer contratista no concluyó el plano para la construcción y la topografía que especificó, no era la real; el segundo contratista encargado de la infraestructura, no puede utilizar la información generada por el primer contratista para realizar la construcción de la infraestructura.

Por lo anterior, se trabajó en campo mientras se realizaban modificaciones al proyecto por parte del personal de Ministerio, específicamente, de la Dirección de Ingeniería y Arquitectura con su Departamento de Inspección, el cual trabajó entonces en el ajuste del diseño de la topografía, mientras el segundo contratista trabaja en campo, a medida que se le brindaba la información de la

topografía. Lo cual denota un gran error porque, además de que el plano no está terminado y por lo tanto, no está aprobado, se tiene que hacer un rediseño del plano topográfico por parte del Ministerio, todo eso generará adendas y sobrecostos porque los cortes y relleno en la topografía no son los originalmente pactados. Errores similares en lo que respecta a la planificación y ejecución se observó con el tercer contrato. Todas estas situaciones generan costos y tiempos adicionales en las obras de construcción del Estado, por la falta de un ejercicio profesional adecuado, en donde deben realizarse planos de construcción precisos que contemplen todas las necesidades requeridas por el proyecto y que permita esa información, construir el proyecto sin modificaciones y cambios.

A continuación se muestra el Cuadro No. 1, con las actividades que deben cumplirse para una ejecución profesional, por no cumplir lo indicado en el cuadro, se han originado los problemas principales que presentan los proyectos de construcción ejecutados en el MIVI y en el MOP.

Cuadro 1
Actividades más Comunes que al no Llevarse a cabo, son las Causas más Comunes de Problemas al Ejecutar un Proyecto de Construcción

Actividades	Presencia en los proyectos analizados	
	Caso 1- MIVI	Caso 2 - MOP
Concurso para el diseño del proyecto.	No	No
Anteproyecto aprobado por la Dirección de Obras y Construcciones Municipales.	No	No
Orden de proceder para el desarrollo de los planos ajustada a la planificación del proyecto.	No	No
Revisiones periódicas para medir la ejecución de los planos.	No	No
Fecha de entrega de los planos según lo planificado.	No	No
Los planos entregados fueron aprobados por la Dirección de Obras y Construcciones Municipales.	No	No
La fecha de la orden de proceder para iniciar la construcción se ajusta a lo programado.	No	No
Se encuentra un inspector residente en la obra durante toda su construcción.	No	No
El plano recibido es concordante en todos sus aspectos con el anteproyecto.	No	No
Se expresa en los detalles del plano la geometría requerida para la correcta construcción de un proyecto.	No	No
Hubo cambios en los planos y los mismos fueron autorizados por la Dirección de Obras y Construcciones Municipales.	No	No
La fecha de inicio de la construcción se ajustó a lo programado.	No	No
Las etapas de construcción se cumplieron en los tiempos programados.	No	No
Se cumplió la fecha de entrega según lo planificada.	No	No
Se cumplió con el costo programado.	No	No

No: significa que no se realizó esta actividad.
Fuente: Elaborado por la Investigadora. 2011.

En la figura 1. se muestra el trabajo en campo mientras se diseña el plano.

Figura 1. Trabajo en Campo sin Plano
Fuente: Dirección de Ingeniería y Arquitectura. Ministerio de Vivienda. 2010.

4. RESULTADOS Y PROPUESTA

El estilo de ejecución de los proyectos en el Estado, revelan que durante el periodo del 2004 al 2009, en el MOP, el 74 % de los proyectos no cumplieron con el buen ejercicio profesional que incluye la génesis del proyecto, desarrollo de los planos y el control en la construcción, generándose adendas de costo y de tiempo, siendo estas cifras de B/. 51,779,625.90 y de 74,824 días, respectivamente, lo cual representó un incremento de 4.16% del monto invertido y 66% adicional del tiempo asignado originalmente en las contrataciones. [11].

Por su parte en el MIVI, se reveló que los proyectos revisados entre los años 2008 y 2009 el 25% de ellos presentaron adendas que ocasionaron un incremento significativo en el presupuesto nacional, siendo el monto total de las adendas por B/. 489,366.32 y un incremento de 745 días en la programación del tiempo de los proyectos; lo cual representó un incremento de 6.14% y 17% del monto en balboas y tiempo asignados originalmente en las respectivas contrataciones. [12].

Estos hallazgos reflejan que no existe eficiencia en la manera de ejecutar los proyectos en estos Ministerios, por ello, se vio la necesidad de desarrollar una Metodología para la Ejecución de Proyectos de Construcción con Eficiencia Técnica y Administrativa.

Del caso típico analizado en el MIVI, se tiene que los errores manifiestan en forma explícita que los proyectos de construcción en estos Ministerios, carecen de una metodología en su ejecución, observándose la falta de una serie de elementos técnicos como aprobación de anteproyecto, información incompleta para su elaboración, priorizar el estudio de suelo y estudio hidrológico como unas de las piezas claves para los diseños técnicos y el desconocimiento de las afectaciones que produce el hecho de no seguir una ruta lógica basada en el objetivo específico del proyecto.

En el caso típico analizado se detectó un factor fundamental cuya omisión origina grandes adendas y atrasos, como es el hecho de que un plano de construcción, debe reflejar en su contenido una construcción en papel, y esto es posible hacerlo solamente si se sigue un comportamiento adecuado y cónsono con la buena práctica de la ingeniería [15], basada en el desarrollo de los planos por el Método de la Tridimensionalidad Repetitiva, método innovador, que consiste en lograr plasmar en dos dimensiones el concepto de diseño para la realización de una obra. La técnica en el desarrollo del método, es seguir una secuencia lógica y estructurada que nos presente siempre la tridimensionalidad del proyecto a construir, empleando dibujos en dos dimensiones y luego si es necesario aclarar otro aspecto, volver a esa tridimensionalidad con dibujos bidimensionales en la hoja de plano; con esa repetición siempre se visualizará la tridimensionalidad requerida para construir cualquier aspecto del objeto [13], [15], [16].

Si bien es cierto, que hoy día existen proyectos de construcción que han terminado en el tiempo y sin sobrecosto, eso no significa necesariamente que se han ajustado a las actividades programadas con sus rendimientos estándares, porque inclusive existen en algunos proyectos unas sobreestimación del tiempo y costo en la ejecución de las obras. En esta investigación se propone una metodología para el desarrollo de los planos basada en el Método de la Tridimensionalidad Repetitiva, el cual sirve a los proyectos como guía para su ejecución y así evitar adendas tanto de tiempo como de costo.

Esto nos lleva a formular una Metodología Estructurada que consta de tres componentes técnicos básicos, que son: Reglamentación y contenido técnico, Técnicas para el desarrollo de los planos y Controles para la ejecución de las obras, tal como se manifiesta en el flujo descrito en la Figura 2:

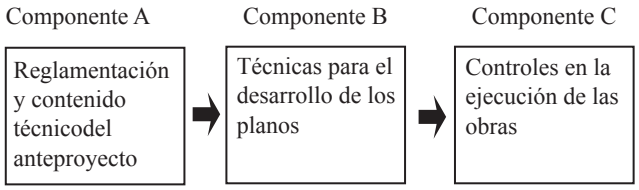


Figura 2. Modelo Conceptual para la Ejecución de Proyectos de Construcción

Fuente: Elaborado por la Investigadora. 2011

Los componentes que integran la metodología se explican a continuación:

Componente A - Reglamentación y contenido técnico del anteproyecto: se plantea una primera etapa que considera contar con la creación de una Comisión Técnica Interdisciplinaria que revisa y se nutre de todos los reglamentos, leyes, normas, planes relacionados con el diseño de un proyecto y sus aspectos compositivos, entre ellos: urbanismo, usos del suelo, tenencia de la tierra, plan de desarrollo nacional y de las necesidades y requerimientos para el diseño del proyecto en cuestión. Una vez cumplida esta etapa, que debe ser practicada entre el grupo de profesionales de la ingeniería y la arquitectura, se concluye con un documento de requerimientos que especifica el contenido necesario que el proyecto necesita en su etapa de creación.

Componente B - Técnicas para el desarrollo de los planos por el Método de la Tridimensionalidad Repetitiva [13]:

Se inicia haciendo los dibujos generales que definen una volumetría, los cuales son: las plantas, las elevaciones principales y las secciones, el conjunto de esas vistas define la forma general del proyecto que al ser interpretadas por el ingeniero, este entenderá la volumetría que se le quiere manifestar; a esa volumetría que es un trío técnico, constituido por la planta, elevaciones y secciones se le aplican las órdenes técnicas y los acabados del proyecto con un proceso de ejecución sencillo; este proceso consiste en que cada uno de los dibujos o vistas deben pasar por el tamiz del método propuesto, el cual consiste en desarrollar por separado los componentes; por ejemplo, la planta, a ella se le aplicarán acotaciones parciales y totales en todos sus lados, estas acotaciones definen todo su contenido exterior como puertas, ventanas, paredes, etc., enmarcando los aspectos de la forma volumétrica, para esta vista en particular; seguido se aplicarán los símbolos necesarios para identificar esas características acotadas (puertas, ventanas, etc.), estos símbolos cumplen una función muy especial en el método, porque son íconos que indican que en otras hojas del plano existen dibujos en dos dimensiones que reviven nuevamente la tridimensionalidad de lo señalado, con plantas, elevaciones y secciones de lo indicado por el ícono.

La técnica en el desarrollo del método es seguir una secuencia lógica y estructurada que presente siempre la tridimensionalidad del proyecto a construir, empleando dibujos en dos dimensiones y luego si es necesario aclarar otro aspecto, volver a esa tridimensionalidad con nuevos símbolos que expresen una nueva volumetría manifestada a través de dibujos bidimensionales en la hoja de plano; con esa repetición siempre se visualizará la tridimensionalidad requerida para construir cualquier aspecto del objeto.

El método sugiere en forma seguida aplicar notas, las cuales son en este caso, una extensión de las especificaciones porque su objetivo es cumplir el proceso por el cual se definen los materiales, acabados, reglamentos, normas, mezclas, protecciones y otros. Este ciclo repetitivo y continuo, se realiza hasta estar satisfecho que todo el contenido plástico de lo señalado por los símbolos, ha aclarado la tridimensionalidad de lo que se desea construir y garantiza el hecho de ver los objetos tal como son en la realidad.

En resumen, la estructura de este Método de la Tridimensionalidad Repetitiva es el siguiente:

Paso 1: Creación de la volumetría del objeto

Fase 1.1 Planta

Fase 1.2 Fachada

Fase 1.3 Sección
Paso 2: Desarrollo Técnico
Fase 2.1 Aplicar acotaciones
Fase 2.2 Aplicar símbolos
Fase 2.3 Aplicar notas

Esta tridimensionalidad repetitiva, se repite siempre que se generen símbolos en el Paso 2, Fase 2.2 y se aplica tantas y cuantas veces sean necesarias, hasta obtener la respuesta a nuestra pregunta clave *¿Con toda la información técnica suministrada en el Paso 2; el detalle, el elemento o proyecto puede construirse?*, Si la respuesta es ***Sí***, finaliza el desarrollo, si es ***No***, continúa la tridimensionalidad.

A continuación se describe el proceso a seguir en el desarrollo técnico como son las acotaciones, los símbolos y las notas:

Explicación para la aplicación de las acotaciones en los planos:

Las plantas, las elevaciones o las secciones y todos los elementos del plano que integran un proyecto, requieren para su construcción de una serie de órdenes técnicas que son indispensables, llamadas acotaciones, las cuales permiten que se construyan los objetos exactamente como se diseñaron, porque al aplicar acotaciones parciales y totales exteriores o interiores en el ancho, el alto y la profundidad en todas las características como formas, radios, entrantes, salientes, entre otras, garantizan que los volúmenes diseñados con sus características, sean construidos exactamente como se diseñaron.

Explicación para la aplicación de los Símbolos en los planos:

Consiste en la ubicación de símbolos en la planta, elevación o sección; donde se ubiquen representan un ícono, el cual significa, que en otras hojas del plano hay los dibujos necesarios que permiten construir lo señalado exactamente como se diseñó, es decir, otra tridimensionalidad [16]. Una característica del método consiste en recordar el hecho de que cuando se aplica un símbolo en una volumetría elaborada (planta, elevación o sección), se origina la necesidad de hacer una nueva tridimensionalidad con plantas, elevaciones y secciones, a las que se les darán acotaciones, símbolos y notas, originando así la repetición del proceso hasta tanto se esté completamente seguro de que se ha completado el proceso de construcción en papel, esto es en síntesis el proceso de nuestra Tridimensionalidad Repetitiva, expresada con la filosofía de la simplicidad.

Explicación para la aplicación de las Notas en los planos:

Por último, se agregarán notas que son las especificaciones técnicas que garantizan la construcción de acabados, el uso de materiales adecuados donde se enfatizan las normas de calidad, resistencia y color en los acabados y otras características.

A continuación se presenta el componente C de la Metodología que consiste en:

Componente C - Controles en la ejecución de las obras: en el grupo se encuentra la estrategia y el seguimiento que el plano y las especificaciones ordenan, así como la iniciativa y creatividad manual mecánica y técnica que se aplica en el mejor oficio de construir.

El seguimiento sistemático aplicado de estos tres componentes, nos revela el desarrollo que un proyecto debe seguir desde su inicio hasta su finalización, porque en él se contemplan todas las actividades inherentes al proyecto. Al ser este procedimiento un elemento abarcador de la ejecución de un proyecto, se ha utilizado como inspiración para la creación de una ruta técnica, la cual servirá para dirigir, supervisar, inspeccionar y controlar el proceso de diseño y desarrollo de los planos, así como la ejecución de la construcción en sus diferentes etapas, evitando así que se originen adendas, atrasos y el incumplimiento en lo pactado.

Seguido se presenta la figura 3. en donde se realiza un análisis comparativo, entre cómo se ejecutan los proyectos y su corrección por el método propuesto, en el cual se aprecia que en el flujo de actividades de la izquierda el proceder que se dio en el diseño de la infraestructura, (incluía el movimiento de tierra, solución del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, sistema eléctrico de la urbanización, sistema de agua potable, alineamiento de las calles así como el diseño final de su rodadura, su mobiliario urbano y su señalización), generó adendas, las cuales se originan por el flujo identificado con las flechas rojas del gráfico izquierdo, producto de cómo ejecutan los proyectos.

En esta misma figura 3 se presenta en el lado derecho, la aplicación de la Metodología que se

propone y se puede apreciar un flujo de actividades sin desviaciones, el cual garantiza la eliminación de las adendas y sobrecostos que se generaron cuando se aplicó el flujo de la izquierda.

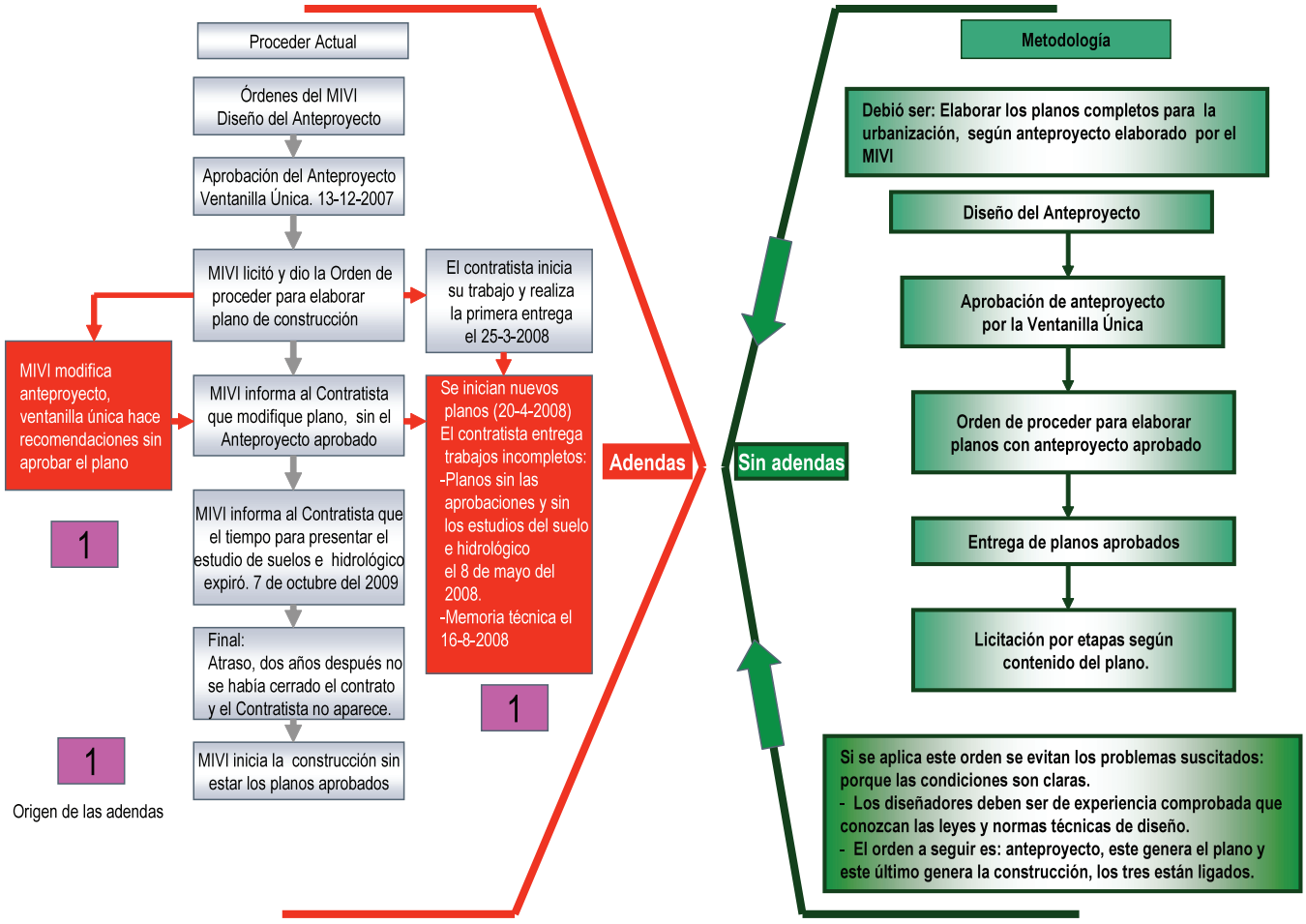


Figura 3. Análisis Comparativo entre Como se Ejecutan los Proyectos y su Corrección por el Método Propuesto. Proyecto: Diseño de la Infraestructura para la Construcción de Viviendas en Buena Vista Colón
Fuente: Elaborado por la Investigadora. 2011.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo al comportamiento detectado en el desarrollo de las obras en estos Ministerios, se puede concluir que estos proyectos presentan en su trayectoria el siguiente comportamiento:

- Incrementos en los costos.
- Alteración del presupuesto estatal.
- Atrasos en la ejecución de las obras.
- Controversias legales.
- Afectación social.

Lo anterior, se debe a que no se cuenta con una metodología estructurada, que contemple una realización técnica eficiente y un control por etapas en el contenido de sus ejecuciones, la falta de metodología ocasiona la creación de adendas y atrasos perjudicando con esto a la sociedad.

Se recomienda actuar con criterio profesional cuando se aplique la metodología técnica en el proceso de construcción, la cual abarca desde la génesis de los proyectos hasta su finalización, en ese periodo debe fiscalizarse la aplicación de reglamentos, leyes, usos del suelo, integración ambiental, servicio a la comunidad, entre otros; esto es posible siguiendo el contenido de un plano de construcción elaborado por profesionales

idóneos, el cual tenga como fundamento principal el hecho de que revele la tridimensionalidad constructiva y sus especificaciones en todos los elementos que componen la edificación.

Esta Metodología para la Ejecución de Proyectos de Construcción es realmente novedosa y no es una manera de decir que hay que ser ordenado y sistemático, sino que va mucho más allá, ya que al aplicar esta metodología, se evita el error; porque, al ejecutar cada uno de los componentes que integran la metodología, que parten desde el desarrollo del anteproyecto, la ejecución el plano de construcción así como en el control de la construcción se esquematiza una serie de procedimientos que van acordes con la manera y el buen ejercicio de la ingeniería y la arquitectura, utilizando las ciencias y los principios científicos que son necesarios para la ejecución ordenada y correcta de los proyectos de construcción públicos.

Esta propuesta garantiza un buen desarrollo de un proyecto, porque mantiene en tiempo real la volumetría de cualquiera de los aspectos o de las partes que integran un proyecto y al seguirlo se garantiza una ejecución científica de la obra.

El aporte a nivel profesional consiste en que recuerda a los diseñadores los campos generales, específicos y técnicos que deben seguirse en cada aspecto del proyecto. Además, contribuye a que los proyectos contemplen en su ejecución la parte científica como elemento principal en el ordenamiento para la finalización de sus etapas.

La fortaleza del estudio es valorada porque es una contribución al ejercicio profesional de la ingeniería, con una dirección que contemple todos los elementos técnicos en sus etapas. Al aplicar la metodología, los proyectos se ajustan a los tiempos y costos reales, porque impera la aplicación de las ciencias para sus estimaciones y programaciones.

Es conveniente para el éxito de la aplicación de esta Metodología, la cooperación gubernamental, en el sentido de cumplir las disposiciones legales y que la Dirección de Obras y Construcciones Municipales se mantenga alejada de aspectos políticos en su ejercicio. Además, resulta delicada la práctica de no contar con inspectores residentes en la obra en forma obligatoria como lo contempla la ley.

Para futuras investigaciones se recomienda elaborar un prototipo de seguimiento, para garantizar que las obras de construcción sean realizadas según los planos; para ello, se debe hacer el desglose del contenido de las especificaciones técnicas y especiales en las diferentes actividades del proceso de construcción, para garantizar un seguimiento técnico y controlado de la inspección.

6. AGRADECIMIENTO

Se agradece a los profesionales de las diferentes ramas de la ingeniería y la arquitectura en los Ministerios de Vivienda y Ordenamiento Territorial y en el Ministerio de Obras Públicas, que permitieron hacer la labor investigativa tanto de trabajo en oficina, como de trabajo en campo y lograr con ello, recopilar información indispensable para hacer la propuesta metodológica. De igual manera, se hace un reconocimiento especial a todos los profesionales de la Ingeniería y Arquitectura que con sus aportes han enriquecido y permitido validar la Metodología para la Ejecución de Proyectos de Construcción con Eficiencia Técnica y Administrativa y que han mostrado la necesidad de que exista un instrumento que guíe la ejecución de proyectos de construcción públicos porque el país lo necesita, por todos los motivos que han sido evidentes en esta investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] ALNUAIMI, A. S., Taha, R. A., Al Mohsin, M., and Al-Harthi, A. S. (2009). "Causes, Effects, Benefits and Remedies of Change Orders on Public Construction Projects in Oman". Journal of Construction Engineering and Management

[2] ARCUDIA Abad, C.E., Solís Carcaño, R.G., Cuesta, A. R., (2007). "Propuesta Tecnológica para Incrementar la Productividad en la Construcción Masiva de Vivienda". Investigación y Tecnología. Universidad Autónoma de México.

[3] HERNÁNDEZ CASTAÑEDA, O. (2006). "Durabilidad e Infraestructura: Retos e Impacto Socioeconómico". Universidad de Nuevo León México. Revista de Ingeniería de Construcción. Chile.

[4] NAVARRA, M., ESPARCIA, P. (2006). La "Carretera como Elemento de Valor Paisajístico y Medioambiental". Captación del valor del paisaje a través de la carretera,

Universidad Rey Juan Carlos, M. / Construcción y ví¬as rurales.

[5] PANAGIOTIS, A., Labi, S., BHARGAVA, A, Bordat, C., Mannering, F. (2010). "Frequency of Change Orders in Highway Construction Using Alternate Count-Data Modeling Methods". Journal of Construction Engineering and Management.

[6] SAE-HYUN Ji, Moonseo Park, M. ASCE; Hyun-Soo Lee, M. ASCE; and Jong-San Lee. (2010). "Data Preprocessing Based Parametric Cost Model for Building Projects: With Case Studies of Korean Construction Projects". Journal of Construction Engineering and Management.

[7] Somkiat Apipattanavis, Keith R. Molenaar, M. ASCE; Balaji Rajagopalan, M. ASCE; Yunping Xi, M. ASCE; Kevin Sabol, Ben Blackard, and Shekhar Patil, M. ASCE. (2010).
"An Integrated Framework for Quantifying and Predicting Weather Related Highway Construction Delays". Journal of Construction Engineering and Management.

[8] YIN, Robert K.. Case Study Research. Design and Methods. Second Edition. 1994

[9] YONGTAO TAN, Liyin Shen, and CRAIG Langston. (2010). "Contractors' Competition Strategies in Bidding: A Hong Kong Study".
Journal of Construction Engineering and Management.

[10] ZHEN Yu Zhao, Qian Lei Lv, Jian Zuo, and George Zillante. (2009). "A Prediction System for Change Management in Construction Project". Journal of Construction Engineering and Management.

[11] Ministerio de Obras Públicas de la República de Panamá. Dirección de Inspección. Departamento de Control de Proyectos. (2010).

[12] Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial. Dirección de Ingeniería y Arquitectura. (2010).

[13] RODRÍGUEZ JARAMILLO, Gisela M., "Desarrollo de los Planos de Construcción por el Método de la Tridimensionalidad Repetitiva". Universidad Tecnológica de Panamá. 2011.

[14] Project Management Institute (PMI), "Project Management Body of Knowledge (PMBOK)". 2008.

[15] Sesiones técnicas de trabajo con el Arquitecto Hernando FLÓREZ TABOADA referente a la buena práctica en la Ejecución de Veinte Obras en el Sector Público. 2008, 2009, 2010 y 2011.

[16] Profesor Titular FLÓREZ TABOADA, Hernando. "Apuntes Pedagógicos sobre Metodología para el Desarrollo de los Planos de Construcción". 1984.

Láminas Galvanizadas y Prepintadas. Evaluación de su comportamiento en tres sitios de exposición atmosférica ubicados en el antiguo Fuerte Sherman en Colón.

Ing. Lilibeth De Gracia de Araque
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro Experimental de Ingeniería
lilibeth.degracia@utp.ac.pa

Ing. Ernesto Escobar
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro Experimental de Ingeniería
ernesto.escobar@utp.ac.pa

Resumen- *En el presente trabajo se evalúa y se compara la resistencia a la corrosión de paneles galvanizados y prepintados de 10 x 30 cm, colocados en tres sitios de exposición atmosférica: Rompeolas, Costera y Tierra Adentro ubicados en el antiguo Fuerte Sherman, en la Provincia de Colón, durante un período de dos (2) años. La presencia de herrumbre en las probetas galvanizadas colocadas en el "Rompeolas" demuestra que en sitios tan agresivos como éste es necesario un espesor de galvanizado superior al de las probetas ensayadas. En las Estaciones Costera y Tierra Adentro no se observó la presencia de herrumbre y las velocidades de corrosión, determinadas por el método gravimétrico después de uno y dos años de exposición se correlacionan muy bien con los resultados obtenidos en atmósferas clasificadas como marinas. En los paneles prepintados, con diferentes combinaciones de colores, se efectuaron evaluaciones físicas para cuantificar los cambios en color y brillo, la corrosión, el entizado, ampollamiento y la deslaminación, entre otros, utilizando como referencia las muestras testigos. Algunos de estos defectos se observaron únicamente en las probetas colocadas en el Rompeolas, mientras que el entizado, por ejemplo, se presentó en todas las muestras expuestas, independientemente del sitio de exposición y de la combinación de colores.*

Palabras Claves- *Ampollamiento, Corrosión atmosférica, entizado láminas galvanizadas, láminas prepintadas y velocidad de corrosión.*

Abstract- *In this work we evaluate and compare the corrosion resistance of galvanized and prepainted galvanized coupons of 10 x 30 cm, located at three sites of atmospheric exposure: Breakwater, Coastal and Inland (Open) located at the old Fort Sherman, in Colon. The presence of rusting only in the galvanized coupons exposed at the Breakwater shows that in aggressive site such as this it is necessary a superior galvanized thickness. Using the gravimetric method we determined the corrosion rate of galvanized coupons and the results are well correlated with the dates obtained in atmospheres classified as marine. In the prepainted panels with different color combination we quantified the changes in color and gloss, degree of rusting, chalking, blistering and flaking using as reference standard coupons. Some of these defects were observed only in the panels exposed in the Breakwater, while the chalking, for example, was present in all the samples independentlyfrom the site of exposure and the color combination.*

Keywords - *Atmospheric corrosion, blistering corrosion rate, chalking, galvanized steel sheet and prepainted sheets.*

Tipo de Artículo: *Original*
Fecha de Recepción: *20 de enero de 2011*
Fecha de Aceptación: *2 de junio de 2011*

1. INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos metálicos a base de zinc y sus aleaciones protegen al acero contra la corrosión ya que actúan no sólo como una barrera que aísla al metal base del medio circundante, sino que trabajan como ánodos de sacrificio, es que decir que ofrecen protección catódica al "sacrificarse" para proteger al acero de los efectos del medioambiente. Estos recubrimientos, una vez expuestos a la acción de la atmósfera se cubren de una delgada capa de sales de zinc, que no solamente protegen al recubrimiento en sí sino que también retardan la corrosión del acerobase. [1, 2]

Dentro del marco de la Red Temática "PATINA" (Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera) del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) se estudió, entre otros, el comportamiento de

recubrimientos de base Zinc, Aluminio y de aleaciones de ambos.

Los recubrimientos de zinc y sus aleaciones fueron aplicados mediante diferentes procesos y se expusieron en doce (12) estaciones atmosféricas ubicadas en once países de la Región Iberoamericana por un período total de cuatro (4) años. [3].

En Panamá las probetas se colocaron en el sitio de exposición atmosférica "Colón", entonces ubicado en el patio de la Central Termoeléctrica, a una distancia de aproximadamente siete (7) metros del mar (Mar Caribe) y a un (1) km de la refinería de petróleo. En esta estación los niveles de cloruros, a pesar de su cercanía al mar, son relativamente bajos [4].

Este sitio fue previamente clasificado como C4 en base a la tasa de corrosión del zinc, de acuerdo con las categorías de corrosividad de la Norma ISO [5].

Con la reversión de las áreas de la Zona del Canal se logró tener acceso a sitios de exposición atmosférica que hasta entonces habían estado bajo el control único del Tropical Test Center de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica. Nos referimos concretamente a las estaciones: Rompeolas (Breakwater), Costera (Coastal) y Descubierta a Tierra Adentro (Open Exposure), que sabemos fueron muy utilizadas por los norteamericanos para investigaciones en el área de diversos materiales de uso ingenieril, principalmente los utilizados en las estructuras canaleras.

En cuanto a referencias concretas de estudios efectuados por los norteamericanos únicamente contamos con un reporte final que se refiere a un estudio comparativo de corrosión que se llevó a cabo simultáneamente en las estaciones de Sherman y en Kure Beach, Carolina del Norte de 1986 a 1988. En este estudio, la Humedad Relativa (%) media mínima es de 81% para las Estaciones Costera y la Rompeolas, de 80 % en la Estación Tierra Adentro. En cuanto a datos de contaminantes atmosféricos, se reportan datos de caída de sal en la Estación de Rompeolas de hasta 4676 mg/m2/día (febrero del 88); y en la Estación Costera de hasta 1915 mg/m2/día, febrero del 87 [6]

Basándonos en estos registros confirmamos que estos sitios de exposición atmosférica son de particular interés, tanto nacional como internacional, para el desarrollo de proyectos en el área de corrosión, protección y degradación de materiales.

En el año 2003 el Centro Experimental de Ingeniería inició la caracterización de los sitios de exposición de "Sherman", utilizando la técnica del "alambre sobre el tornillo", durante un (1) año (julio 2002-julio 2003). Además de los ensamblajes "alambre sobre tornillo", se colocaron captadores de contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre y cloruros) y una estación meteorológica para el registro de parámetros climáticos tales como: humedad, temperatura, precipitación, velocidad y dirección de los vientos y radiación solar [7].

Posteriormente, dimos inicio al presente trabajo con la finalidad de generar información en cuanto al desempeño de las láminas galvanizadas y prepintadas que, en nuestro país se comercializan a gran escala en sus diversas formas (techos, carriolas, canales, etc.) para la ejecución de diversos proyectos ingenieriles.

Concretamente, se expusieron probetas recubiertas con zinc por el proceso de inmersión en caliente, de dos tipos de calibre: 26 (C26) y 16 (C16) y probetas prepintadas de diferentes combinaciones de colores: rojo-blanco, verde-blanco, azul-blanco y blanco-blanco.

Todas las láminas fueron suministradas (donadas) por una empresa privada nacional.

2. OBJETIVOS.

2.1. Evaluar la influencia del clima y la contaminación en la durabilidad de las

láminas galvanizadas y de las galvanizadas y prepintadas.

2.2. Comparar el comportamiento de láminas recubiertas únicamente con zinc y de las recubiertas con zinc y un sistema de pintura (prepintado).

2.3. Generar recomendaciones en cuanto a cuál debe ser el espesor mínimo de galvanizado que debe utilizarse en sitios con unas condiciones similares a la de los sitios de exposición de Sherman.

3. CONTENIDO

3.1. Materiales:

En cada estación de ensayo se colocaron noventa y seis (96) probetas: 16 láminas galvanizadas calibre 26 (C26), 16 láminas galvanizadas calibre16 (C16), 16 láminas prepintadas verde- blanco, 16 prepintadas rojo-blanco, 16 prepintadas azul- blanco y 16 prepintadas blanco-blanco. Por cada tipo de material se expusieron cuatro (4) paneles de ensayo, en el caso de las galvanizadas tres (3) de éstas se utilizarían para determinar la velocidad de corrosión. A la cuarta probeta de cada material se le hizo una incisión es decir un corte diagonal, para evaluar la protección catódica del recubrimiento (zinc, sistema de pintura) en aquellos casos frecuentes en que el material debido a su manejo, transporte u alguna otra circunstancia experimente algún tipo de ralladura que deje el metal base al descubierto.

3.2. Codificación de las probetas:

Las probetas sometidas a exposición atmosférica fueron codificadas así:

Probetas galvanizadas:

El primer número corresponde a la estación de exposición: **1**=Rompeolas **2**= Costera, y **3**= Tierra Adentro. Seguidamente viene la letra G con el número 16 o 26 que indican lo siguiente: **G16-** lámina galvanizada, calibre 16 y **G26-** lámina galvanizada, calibre 26. Luego viene un número correspondiente al número de probeta: 1, 2, 3 y 4 y finalmente el tiempo de exposición, en años.

Ejemplo: 1G1612

1= Estación Rompeolas

G16-Lámina galvanizada, calibre 16

1= Probeta número uno

2= Tiempo de exposición= dos (2) años.

Probetas prepintadas:

Se utilizó el mismo concepto que para las galvanizadas con la diferencia de que las letras indican la combinación de colores del prepintado: RB= rojo-blanco (la primera letra indica el color de la cara expuesta, que mira al cielo); VB- verde-blanco, AB- azul-blanco y BB- blanco-blanco.

Ejemplo: **1VB12**

1= Estación Costera

VB- prepintada verde-blanco

1= número de probeta

2= tiempo de exposición, dos (2 años)

De cada una de las láminas expuestas se guardó una probeta testigo bajo condiciones de laboratorio.

El tiempo total de exposición programado es de cuatro años con remociones anuales.

3.3. Evaluaciones antes de la exposición:

- Las láminas galvanizadas se limpiaron muy bien con alcohol etílico para remover la grasa y suciedad, se pesaron en balanza analítica, se determinó el peso del recubrimiento de zinc de acuerdo con Norma ASTM A90/ 90 M [8]. En la Tabla 1 se reportan los pesos en el sistema inglés (oz/pie2), en el métrico (g/m2) y también el espesor del recubrimiento de zinc en cada cara en µm.
- Las láminas galvanizadas y prepintadas se limpiaron con papel toalla y agua destilada. Seguidamente se midió el espesor total del recubrimiento (galvanizado + pintura) en la cara expuesta (que mira al cielo) y en la no expuesta (que mira al suelo). En la tabla 2 se reportan los espesores totales por ambas caras. Obsérvese que el espesor del prepintado en la cara expuesta siempre es mayor que en el de la no expuesta. El espesor del sistema de pintura se obtuvo restando Cpromedio (Tabla 1) de los espesores totales. La medición de espesores se efectuó utilizando un medidor digital de acuerdo a lo establecido en la

Norma ASTM D 1186 [9]. Se reportó un espesor promedio para cada de las combinaciones de colores.

Las figuras 1, 2 y 3 nos muestran las estaciones de ensayo con sus respectivas coordenadas geográficas y las probetas colocadas en los bastidores.

3.4. Evaluaciones después de la exposición.

Después de 6, 12 y 24 meses de exposición en las láminas galvanizadas calibre 26 y calibre 16 se efectuaron evaluaciones, in situ, en la cara, bordes e incisión de acuerdo con el procedimiento establecido en el Grupo G-3 de la Red "Patina" [3].

En la cara se evaluó el porcentaje de óxidos de blancos (OB) y/o de óxidos rojos (OR).

En los bordes se midió el avance de la corrosión a "partir de los bordes" en mm. Se anotó si los óxidos presentes, en caso de que los hubiera, eran de color blanco (OB) o de color rojo (OR).

En la incisión, también se evaluó el porcentaje de óxidos blancos y/o rojos. En caso de que los óxidos (blancos o rojos) ya no estuvieran solamente dentro de la incisión, sino que hubiesen avanzado fuera de ésta, entonces se anotó un promedio de avance (en milímetros, mm) de corrosión a partir de la incisión. Una vez terminadas las evaluaciones se tomaron las fotos correspondientes. Luego de los retiros a uno y dos años de exposición se determinó la velocidad de corrosión de las probetas galvanizadas de acuerdo con la Norma ISO / DIS 8407 [10]. El grado de deterioro de las probetas prepintadas se midió de acuerdo con las normas ISO 4628/1 [11], ISO 4628/2 [12], ISO 4628/3 [13], ISO 4628/5 [14] e ISO 4628/6 [15].

Figura 1. Estación Rompeolas.

Latitud y longitud: 9o22'21" Norte 79o 6'48" Oeste. Este sitio se estableció en el año de 1960, pero se usó por primera vez en 1963. La acción de los vientos mantiene las olas chocando contra las rocas que sirven de rompeolas lo cual produce abundante sal en forma de rocío y una atmósfera con un alto contenido. La humedad relativa sobrepasa el 80% la mayor parte del año.

Figura 2. Estación Costera.

Latitud y longitud: 9o 22'15" Norte, 79o 57'1" Oeste Se estableció en el año 1977 para reemplazar el sitio marino en Isla Galeta. Se caracteriza por estar cerca de la orilla del mar, pero protegido por la acción de las olas por la presencia de un arrecife coral.

Figura 3. Estación Tierra Adentro.

Latitud y longitud: 9o 21'42" Norte 79o 57 17" Oeste. Se estableció en el año 1960 al igual que el Rompeolas, y también se empezó a utilizar en el 1963. Se encuentra localizada a aproximadamente 1.3km tierra adentro desde el Rompeolas.

Tabla 1. Características de las láminas galvanizadas.

Probeta	A	B		C
	mm	oz/pie	g/m	µm
C26	0,43	0,592	180,7	12,72
C16	1,43	0,583	177,9	12,53
			promedio	**12,62**
A= Espesor total de probeta galvanizada (acero base + galvanizado) promedio.				
B= Peso del recubrimiento de zinc, promedio.				
C= Espesor del recubrimiento de zinc, promedio, por cada cara.				

Tabla 2. Espesores de láminas prepintadas.

Probeta	Espesores promedio de láminas prepintadas antes de su exposición, µm			
	Cara expuesta $E._{total}$	Cara expuesta $E._{pintura}$	Cara No expuesta $E._{total}$	Cara No expuesta $E._{pintura}$
1AB	41,41	28,69	30,23	17,51
1RB	45,05	32,33	24,13	11,41
1VB	39,62	26,90	26,33	13,61
1BB	35,98	23,26	22,44	9,72
2AB	45,47	32,75	28,45	15,73
2RB	43,94	31,22	23,96	11,24
2VB	37,42	24,70	23,71	10,99
2BB	36,15	23,43	21,76	9,04
3AB	33,10	20,38	24,81	12,09
3RB	39,03	26,31	24,47	11,75
3VB	36,83	24,11	22,35	9,63
3BB	34,89	22,17	21,34	8,62

Tabla 4. Parámetros Climatológicos, estación Rompeolas.

Mes	T ^{0}C	H.R (%)	Radiación Solar (KJ/m	Velocidad del Viento (Km/h)	Dirección del Viento
Ago-02	26.9	88.6	83323	-	-
Sept. 02	33.9	91.28	563594	-	-
Oct.02	30.8	75.6	488974	-	-
Nov. 02	37	100	127854	-	
Dic. 02	38.2	100	544719	22.4	N
Ene-03	40.1	100	542363	28	N
Feb-03	37.7	91.26	302565	27.8	-
Mar-03	-	-	-	-	-
Abr-03	36.6	83.4	530938	17	N
May-03	38.7	87.6	425608	11.9	NW
Jun 03	41.5	88.4	443356	6.6	NW
Jun-03	42.3	100	-	-	-

Tabla 3. Contaminantes Atmosféricos.

Datos de cloruros y de dióxido de azufre correspondientes a la estación Rompeolas.				
MES	AÑO 2002		AÑO 2003	
	SO2	**Cl-**	**SO2**	**Cl-**
	mg/m^{2}día	mg/m^{2}día	mg/m^{2}día	mg/m^{2}día
Ene	x	x	x	x
Feb	118,84	6 893,44	44,49	549,74
Mar	71,68	8 349,31	60,49	515,17
Abr	132,43	1 211,18	100,27	x
May	x	x	74,89	2 169,35
Jun	10,94	1 799,59	104,6	1 340,65
Jul	1,81	197,18	7,56	303,33
Ago	36,48	1 385,75	x	475,09
Sep	10,84	236,32	x	x
Oct	11,5	513,29	x	x
Nov	113,08	266,27	x	x
Dic	48,0	2 097,66	x	x

4. RESULTADOS

- A los seis (6) meses de exposición la cara y la incisión de todas las probetas galvanizadas calibre 26 y calibre 16, colocadas en el Rompeolas, estaban totalmente recubiertas de óxidos blancos típicos de la corrosión del zinc y avanzada oxidación a partir de los bordes. Figura 8.
- A los doce (12) meses de exposición estaban totalmente recubiertas de herrumbre, no fue posible determinar la velocidad de corrosión y se retiraron de la estación. Figura 9.
- Todas las láminas prepintadas colocadas en el Rompeolas presentaron evidente deterioro en la cara, bordes e incisión. A los seis (6) meses de exposición se observó una incisión totalmente recubierta de productos de corrosión de color blanco.

Tabla 5. Pérdidas de espesor de láminas prepintadas después de un año de Exposición.

Probeta	Cara Expuesta			Cara No Expuesta		
	E.antes µm	E. después µm	Pérdida de espesor µm	E.antes µm	E.después µm	Pérdida de espesor µm
1AB	41,41	x	x	30,23	x	x
1RB	45,05	x	x	24,13	x	x
1VB	39,62	x	x	26,33	x	x
1BB	35,98	x	x	22,44	x	x
2AB	45,47	38,36	7,11	28,45	20,57	7,88
2RB	43,94	38,99	4,95	23,96	x	x
2VB	37,42	37,09	0,33	23,71	19,18	4,53
2BB	36,15	32,26	3,89	21,76	18,54	3,22
3AB	33,10	26,29	6,81	24,81	19,18	5,63
3RB	39,.03	35,31	3,72	24,47	20,83	3,64
3VB	36,83	34,14	2,69	22.35	21,08	1,27
3BB	34,89	32,77	2,12	21,34	20,83	0,51

Tabla 6- Velocidades de corrosión, en µm/año

Estación	Código de la probeta	Velocidad de corrosión, µm/año	Código de la probeta	Velocidad de corrosión, µm/año
		T de exp.= 1 año		T de exp.= 2 años
Costera	2G1611	2,09	2G1612	2,40
	2G1621	2,27	2G1622	2,53
	2G1631	2,78	2G1632	2,30
	2G2611	3,53	2G2612	2,34
	2G2621	3,77	2G2622	2,20
	2G2631	3,77	2G2632	2,33
Descubierta Tierra Adentro	3G1611	1,62	3G1611	1,73
	3G1621	1,60	3G1612	1,84
	3G1631	1,61	3G1622	1,62
	3G2611	2,59	3G1632	1,92
	3G2621	2,47	3G2612	1,88
	3G2631	2,47	3G2622	1,97

- El defecto identificado como “deslaminación” *(flaking)* del recubrimiento únicamente se presentó en las láminas prepintadas colocadas en el Rompeolas.
- En la estación Rompeolas el mayor deterioro se observó en las láminas rojo-blanco (RB). En éstas incluso se observó una especie de desgaste físico, que no se asocia a una falla del recubrimiento en sí sino mas bien a un proceso de erosión debido a que las probetas están sometidas a constantes salpicaduras debido a la acción de los vientos. Figura 10.
- En las probetas prepintadas colocadas en el Rompeolas no fue posible medir el

espesor después de un (1) año de exposición puesto que la superficie estaba muy rugosa por la presencia de múltiples ampollitas. Tabla 5.

- Después de dos (2) años de exposición no fue posible medir el espesor de las láminas prepintadas colocadas en las estaciones Costera y Tierra Adentro también debido a la presencia de ampollamiento.
- Las probetas que experimentaron mayor pérdida de espesor por ambas caras fueron las AB (azul-blanco) tanto en la estación costera como en la Tierra Adentro. Tabla 5.
- En las probetas prepintadas colocadas en la Estación Costera y Tierra Adentro, después de dos años de exposición no se presentó desprendimiento de la pintura ni presencia de herrumbre en la cara y bordes, figura 12; sin embargo si hubo cambio apreciable en color y brillo y también entizado (chalking) severo.
- Después de dos (2) años de exposición en las probetas blanco-blanco se observó una incisión totalmente recubierta de herrumbre, el resto de las probetas con incisión también presentaron herrumbre, pero en mucho menor grado.

  En cuanto a pérdida de color y brillo las probetas más afectadas fueron las verde-blanco, que se tornaron muy blancuzcas. Figura 13.
- Después de un (1) año de exposición se observa una diferencia en las velocidades de corrosión de las probetas G26 y G16 dentro de una misma estación y en ambas estaciones. Esto es interesante puesto que el espesor de recubrimiento de zinc es similar en ambas tipos de probeta, lo que varía es el espesor total de la lámina, es decir el calibre. Tabla 6.
- Después de dos (2) años de exposición las probetas galvanizadas colocadas en las estaciones Costera y Tierra Adentro se encuentran en bastante buen estado, recubiertas de una capa de óxidos blancos. Figura 11.
- La velocidad de corrosión de ambos calibres es bastante similar en una misma estación y en ambas estaciones. Tabla 6.
- En forma general la velocidad de corrosión de las láminas galvanizadas es mayor en la Estación Costera que en la Tierra Adentro. Figuras 4, 5, 6 y 7.
- Se determinó la categoría de corrosividad de las atmósferas de las estaciones Costera y Tierra Adentro en función de la velocidad de corrosión del zinc, durante el primer año de exposición, de acuerdo con lo establecido en la norma ISO 9223. Tabla 7.

Tabla 7. Categoría de Corrosividad de la atmósfera en función de la velocidad de corrosión del zinc, según norma ISO 9223.

Estación	Categoría de Corrosividad $V_{\text{. de corrosión}}$ del Zn	Agresividad (Corrosividad)
Rompeolas	x	x
Costera	C4	Alta
Tierra Adentro	C3	Media

X= No fue posible determinar la velocidad de corrosión del zinc.

Tabla 8. Categorías de la atmósfera en cuanto a velocidades de depósito de SO2 y Cl-

TA	D	VDPC	
		Cl^- (S)	SO_2 (P)
x	S_3P?	300<**S**≤1 500	x

TA =Tipo de Atmósfera
D = Denominación (ISO 9223)
VDPC=Velocidad de Deposición de Contaminantes

- Se determinó que la Categoría de corrosividad del Rompeolas en relación con la rata de deposición de cloruros es S3, mas no hizo con el dióxido de azufre. Tabla 8.

5. DISCUSIÓN

- El avanzado estado de oxidación de las probetas galvanizadas colocadas en el Rompeolas a tan solo un año de exposición, en relación con aquellas colocadas en las otras dos estaciones de ensayo son una evidencia definitiva de la influencia de los parámetros climáticos y de contaminación el desempeño de un material, específicamente de la acción sinérgica de los cloruros y la humedad.
- Nótese que las estaciones de exposición en términos de distancia no están tan alejadas la una de la otra; sin embargo es muy notorio la diferencia en el comportamiento del recubrimiento de zinc a tal punto que en el rompeolas ni siquiera fue posible calcular la velocidad de corrosión ya que al término de un año ya se había consumido todo el zinc y solo había herrumbre, es decir óxidos de hierro.
- Un comportamiento similar al de las láminas galvanizadas se observó en las prepintadas. Las condiciones ambientales tanto climatológicas como de contaminación, presentes en el Rompeolas, son las responsables de defectos tales como herrumbre, deslaminación y erosión ya únicamente los observamos en esta estación. La erosión se asocia al impacto de las partículas de sal que viajan en el aire.
- Cabe destacar que un defecto común que se presentó en todas las estaciones de ensayo fue el chalking o entizado sobre la cara expuesta y más o menos en la misma magnitud en todas las probetas. El chalking es una especie de polvo fácilmente removible que se encuentra suelto en la superficie y de acuerdo con la literatura, está asociado con los efectos de la radiación ultravioleta sobre la resina de la pintura.
- Los resultados de las velocidades de corrosión del acero galvanizado en µm/año obtenidas en ambas estaciones se correlacionan bastante bien con los resultados reportados en la Monografía Micat-Panamá en la Estación de Colón, durante los períodos de exposición: 1990-1991 y 1991-
- En cuanto a la velocidad de deposición de cloruros, la más alta se dio en los meses de febrero y marzo del año 2002 y en los meses de mayo y junio del 2003. En forma general los valores superan los 300 mg/m2.dia con algunas excepciones. Por ello la denominamos como categoría S3.
- En el año 2002 y 2003 los resultados de la deposición de dióxido de azufre son mayores de 10 mg/m2día, con excepción del mes de junio. La variabilidad de los resultados no nos permitió establecer una categoría específica y por ello no se estableció el tipo de atmósfera de acuerdo con la ISO 9223. Lo que se podemos decir es que se trata de una atmósfera mixta, es decir contaminada por cloruros (Cl-) y por dióxido de azufre (SO2)

6. RECOMENDACIONES

- En la estación Rompeolas deben colocarse láminas galvanizadas con espesores superiores a los ensayados para determinar los espesores mínimos necesarios en función de la agresividad de la atmósfera.
- Recubrir los bordes de las probetas para minimizar el efecto de borde.
- Antes y después de la exposición utilizar la técnica de la Florescencia de Rayos X con Transformada de Fourier para caracterizar y evaluar la degradación experimentada por los recubrimientos orgánicos.
- En el caso de las probetas galvanizadas sería importante ensayos con el Microscopio Electrónico de Barrido.
- Analizar los productos de corrosión del zinc en las tres (3) estaciones de ensayo para evaluar la naturaleza de los mismos en función de la concentración de cloruros.
- Monitoreo de contaminantes atmosféricos de tal forma que podamos hacer la clasificación de las estaciones de ensayo de acuerdo con la establecido en la Norma ISO 9223.

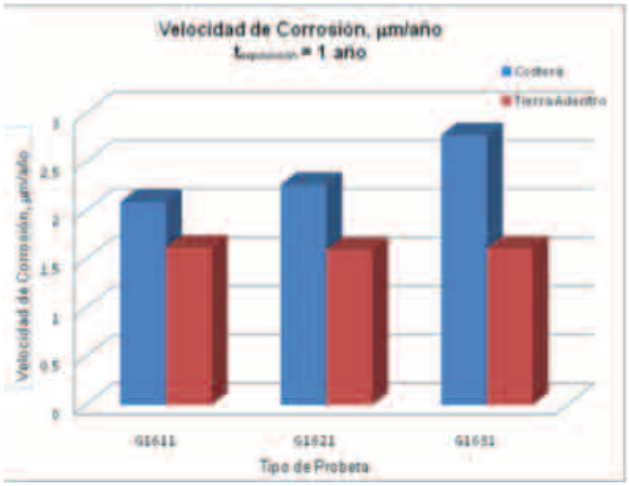


Figura 4. Velocidades de corrosión, un (1) año de exposición,probetas G16.

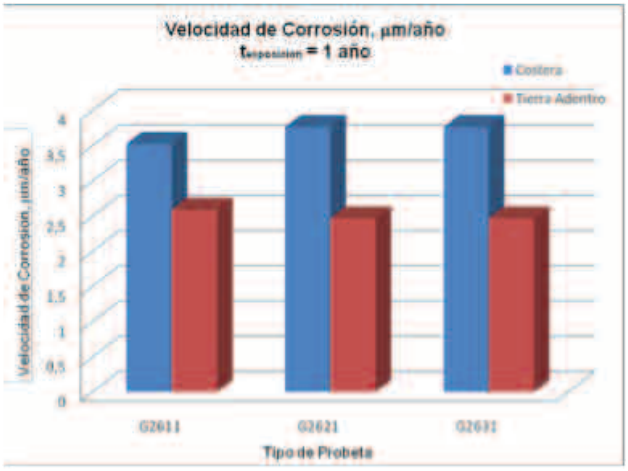


Figura 5. Velocidades de corrosión, un (1) año de exposición, probetas G26

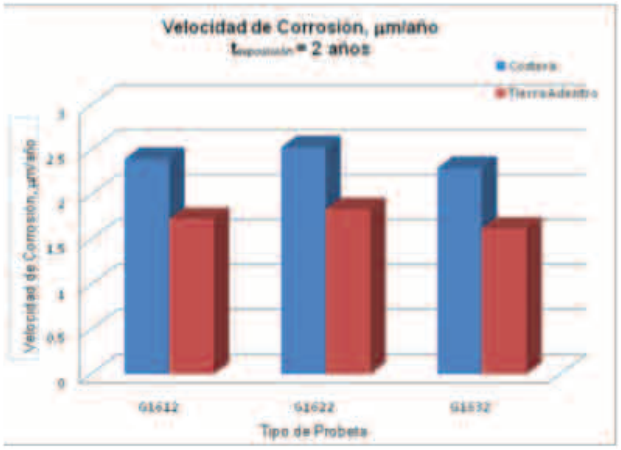


Figura 6. Velocidades de corrosión, dos (2) años de exposición, probetas G16.

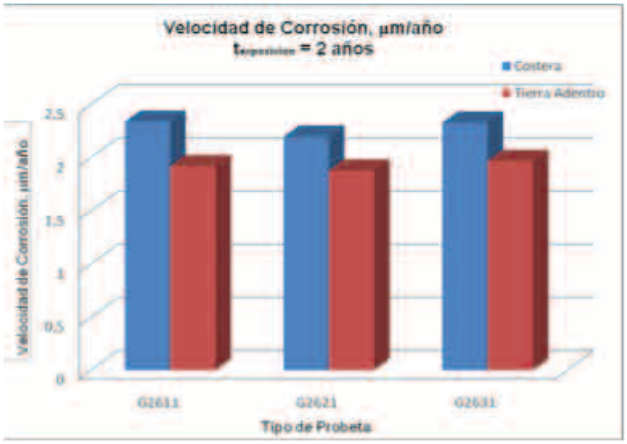


Figura 7. Velocidades de corrosión, dos (2) años de exposición, probetas G26.

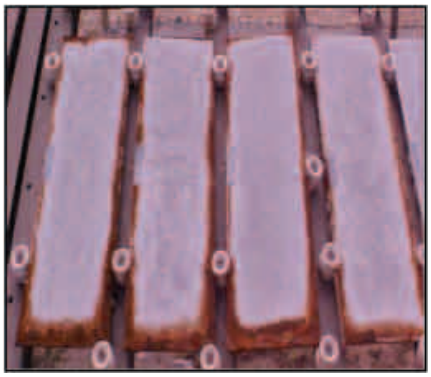


Figura 8. Estación Rompeolas, 6 meses de exposición, galvanizadas.

Figura 9. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, galvanizadas.

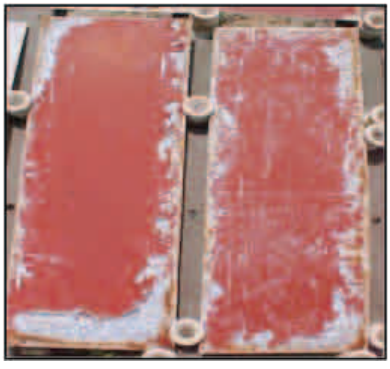


Figura 10. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, prepintadas.

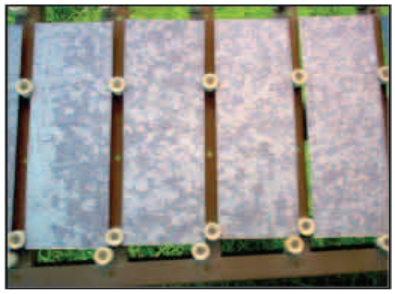


Figura 8. Estación Rompeolas, 6 meses de exposición, galvanizadas.

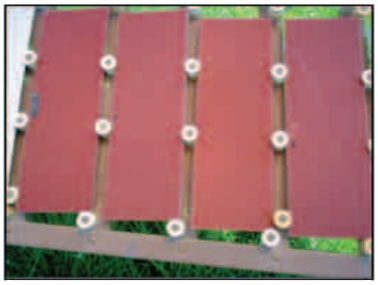


Figura 9. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, galvanizadas.

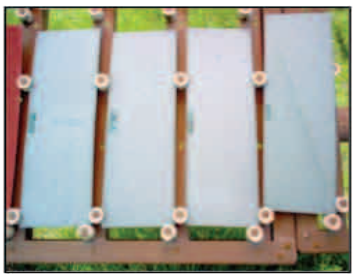


Figura 10. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, prepintadas.

7. AGRADECIMIENTOS

A la empresa que se interesó en nuestro proyecto y que suministró las probetas tanto galvanizadas como prepintadas.

Al personal del Laboratorio de Análisis de Industrial y Ciencias Ambientales por su apoyo.

8. REFERENCIAS

[1] Eficiencia de los recubrimientos anticorrosivos de zinc, aluminio y sus aleaciones sobre láminas de acero de acero de bajo contenido de carbono.

[2] Comportamiento del acero al Carbono y Acero Galvanizado en Diferentes Ambientes Panameños. Reporte Técnico No. CEI-01-002
ISBN 9962-802-20-2
Lilibeth De Gracia de Araque, Mariela de Villalaz

[3] RED TEMÁTICA XV.D Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera
Documento PATINA G3-1
RECUBRIMIENTOS BASE ZINC y sus aleaciones

[4] Corrosividad Atmosférica de Panamá
Proyecto MICAT-PANAMÁ - MONOGRAFÍA
ISBN: 9962-02-121-9.

[5] ISO 9223, "Corrosion of Metals and Alloys, Classification of Corrosivity of Atmospheres Pollution (International Standards Organization, Ginebra 1991).

[6] Methodology Investigation Final Report of Corrosion Standards for Humidity and Salt Fog Testing TECOM Project 7-COOO-RD9-WSI-005, May 1981
Howard W. Bennett, Jr.
Richard Overley

[7] "Aplicación de la técnica del alambre sobre el tornillo para determinar la corrosividad atmosférica de las estaciones de ensayo ubicadas en el antiguo Fuerte Sherman en la provincia de Colón"
Lilibeth De Gracia de Araque y colaboradores
IX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
Octubre de 2003, Hotel el Panamá, Rep. de Panamá.

[8] ASTM A 90/A90 M "Test Method for Weight (Mass) for Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc Alloy Coatings

[9] ASTM D 1186-91 "Standard Methods for Nondestructive Measurement of Dry
Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base"

[10] ISO/DIS 8407, "Metals and Alloys-Procedure for Removal of Corrosion Products from Corrosion Test Specimens, (International Standards Organization, Ginebra, 1991)

[11] RED TEMÁTICA PATINA- "Protección Anticorrosiva de Metales en la
Atmósfera Grupo 6- Sistemas de pintura aplicados en banda continua.

[12] ISO 4628/1 "Paints and Varnishes-Evaluation of degradation of paint coatings-

Designationation of intensity, quantity and size of common types of defect- Part 1: General principles and rating shemes". ISO, Geneve, Switzerland (1982)
[13] ISO 4628/2 "Paints and Varnishes- Evaluation of degradation of paint coatings- Designation of intensity, quantity and size of common types of defect- Part 2: "Designation of degree of blistering"
[14] ISO 4628/3 "Paints and Varnishes- Evaluation of degradation of paint coatings- Designation of intensity, quantity and size of common types of defect-Part 3: "Designation of degree of rusting".

Alarm tree analysis using statistical techniques

Omar Aizpurúa, Humberto Álvarez
Department of Electrical Engineering, Technological University of Panamá
omar.aizpurua@utp.ac.pa, humberto.alvarez@utp.ac.pa

Ramón Galán, Agustín Jiménez, Alfonso Romero
School of Industrial Engineers Polytechnic University of Madrid
ramon.galan@upm.es, agustin.jimenez@upm.es
a.romero@alumnos.upm.es

Abstract- *This work presents a systematic method for the generation and treatment of the alarms' graphs, being its final object to find the Alarm Root Cause of the Massive Alarms that are produced in the dispatching centers. Although many works about this matter have been already developed, the problem about the alarm management in the industry is still completely unsolved. In this paper, a simple statistic analysis of the historical data base is conducted. The results obtained by the acquisition alarm systems, are used to generate a directed graph from which the more significant alarms are extracted, previously analyzing any possible case in which a great quantity of alarms are produced.*

Keywords- *Avalanche of alarms, Root Cause Analysis, Alarm Tree Analysis, Electrical Power Administration*

Resumen- *Este trabajo presenta un método sistemático para la generación y tratamiento de los gráficos de las alarmas, siendo su objetivo final el de encontrar la causa principal de las alarmas masivas que se producen en los centros de distribución. Aunque se han desarrollado muchos trabajos sobre este tema, el problema de la gestión de alarmas en la industria no está todavía completamente resuelto. En este trabajo, se lleva a cabo un análisis estadístico simple de la base de datos histórica. Los resultados obtenidos por el sistema de adquisición de las alarmas, se utilizan para generar un gráfico dirigido en el que se extraen las alarmas más importantes, analizando previamente todos los posibles casos en los que se produjeron una gran cantidad de alarmas.*

Palabras Claves- *Avalancha de alarmas, Análisis de Causa Raíz, Análisis del árbol de alarmas, Administración de Alarmas.*

Paper type: *Original*
Received: *January 24, 2011*
Accepted: *July 13, 2011*

1. INTRODUCTION

With today's digital control systems it is possible to configure a large number of alarms in industrial processes. This leads to a large number of alarms generated under normal conditions in many centers (2,000 alarms per day and operator), multiplying these when there is an abnormality in the process (coming to overcome 40,000 daily alarms) [1]. This large number of alarms in times of failure are called "avalanche of alarms". In addition, few alarms are the "Root Cause" of more than 90% of all alarms [2].

A group of researchers in intelligent control at the Polytechnic University of Madrid and the Technological University of Panama, has been working on the analysis of avalanches of alarms occurring in electrical power transmission and distribution centers. This issue can be addressed with different methods such as Bayesian Networks [3], neural networks [4], the expert systems [5], decision theory [6], etc., or even by a mixture of several of these methods, such as Neuro-fuzzy models [7] and Integrated Methodologies [1].

In this study, using statistical concepts, a directed graph of the alarms of an industrial process is to be developed using information from the database provided by the data acquisition system and identifying the most significant alarms from those that occur in a given time. That is, in an avalanche of alarms produced at any time, the system gets roots alarms that generate the rest of the alarms, reducing alarms received by the operator responsible for the supervision.

A file of alarms is generated, allowing to carry out certain operations, from the basis of available data of an electric power distribution center. These operations allow the development of a directed graph adjacency matrix, i.e. get to know how the network alarms that can occur are structured. Once matrix this is obtained the most significant alarms that occurred at an interval of time (temporal window) can be deduced by Boolean operations that filter the alarms objective of the problem.

The second section of this document develops the processing of data, presenting calculated correlations, partial correlations and conditional probabilities among all alarms resulting in the adjacency matrix of the directed graph of alarms. The third section explains the adjacency matrix and some of its characteristics and properties. The fourth section performs analysis of significant alarms, i.e. removal of alarms that are root cause in a case of avalanche. The fifth paragraph is a brief description of the program software created for the generation and analysis of alarms. Finally, outlining conclusions and possible future work used references. To illustrate the application, there is an example with its arrays and results (see Fig. 1)

2. DATA PROCESSING

From an electrical energy distribution center data acquisition system, a set of encoded data with a format of 0's and 1's is obtained. In this matrix, columns correspond to the database acquisition system alarms and the rows are the time intervals considered when creating the encrypted file. When a 1 appears in a row or temporary window, it indicates that the alarm corresponding to the column in the matrix is active at that time. This last file will provide the necessary relationships between the alarms needed to obtain the adjacency matrix of a directed graph.

The example presented (Fig. 1) is part of a given directed graph for which that alarm file is built. The file, in this case, consists of 10 columns that correspond to the10 alarms to be studied and by a large number of lines that correspond to the same amount of temporary windows obtained from the database of events in a more general case.

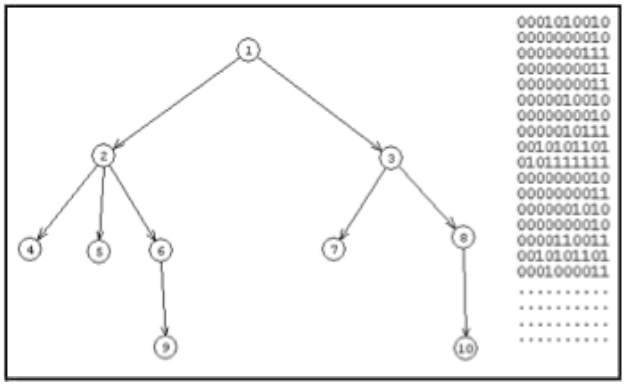


Figure 1. Example

A. Correlation Coefficients

Correlation is a dimensionless measure of the linear relationship between two variables. Correlation between two alarms x and y is given by the ratio between the covariance and product or the standard deviations of the two variables, i.e.:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Thus the correlation is a measure on the degree of relationship between two variables, no matter what the cause or the effects are.

For this analysis, only the positive correlation greater than certain value (threshold), are needed to draw a graph of relations between alarms.

For the example, the correlations between alarms i, j, are presented in the following table, considering a convenient threshold value of 0.2. In this case, the correlation between alarm i and j, is given by the corresponding i, j position of the matrix.

Table 1. Correlation coefficients

Matriz de relaciones: (solamente aparecen las correlaciones mayores que el Umbral)

1	0.56078	0.33765	0.37982	0.27243	0.28214	0.22861	0.20677	*	*
0.56078	1	*	0.67730	0.48580	0.50312	*	*	0.27469	*
0.33765	*	1	*	*	*	0.67707	0.61238	*	0.42169
0.37982	0.67730	*	1	0.24861	0.36247	*	*	0.20092	*
0.27243	0.48580	*	0.24861	1	0.28794	*	*	*	*
0.28214	0.50312	*	0.36247	0.28794	1	*	*	0.54597	*
0.22861	*	0.67707	*	*	*	1	0.39030	*	0.26654
0.20677	*	0.61238	*	*	*	0.39030	1	*	0.68861
*	0.27469	*	0.20092	*	0.54597	*	*	1	*
*	*	0.42169	*	*	*	0.26654	0.68861	*	1

As seen in (Fig 2), it is possible to build a correlation graph from the resulting matrix, with the graph consisting of several redundant connections.

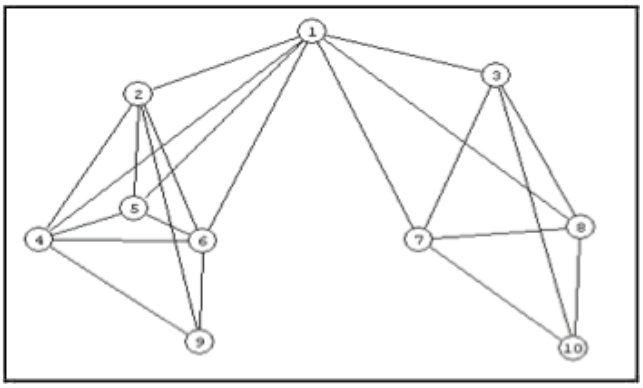


Figure 2. Alarm tree correlations

B. Partial Correlations

Excessive connections found with correlations in the previous paragraph can be simplified using partial correlations between two alarms and holding a third alarm constant. Namely, an existing correlation between two alarms (*x* and *y*) can be positive and greater than the threshold, but its partial correlation, maintaining alarm constant *z*, can be less than the threshold; Therefore, the relationship between the two alarms (*x* and *y*) would be explained by the relationship between the two alarms with the third (*z*). Partial correlations will help deleting redundant connections between nodes separated by more than one edge since they explain their common relationship with nodes between them. This process will delete connections between grandchildren and grandparents, because they are explained by the common parent-child relationship of the two alarms.

Partial correlations between all alarms are calculated to eliminate redundant or excessive connections of the graph of the figure above. The partial correlation between two alarms (x and y) keeping constant a third (z) are calculated based on correlations between three alarms, pairwise, follows:

$$r_{xy.z} = \frac{(r_{xy} - r_{xz}.r_{yz})}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}} \qquad (2)$$

As with previous correlations, only values greater than the threshold are considered for the analysis.

For the example discussed, a portion of their calculated partial correlations is shown below.

Table 2. Partial Correlations

Parcial [1][2].[3] =	0.53579	Parcial [1][4].[2] =	-0.00000
Parcial [1][2].[4] =	0.44600	Parcial [1][4].[3] =	0.36566
Parcial [1][2].[5] =	0.50943	Parcial [1][4].[5] =	0.33487
Parcial [1][2].[6] =	0.50516	Parcial [1][4].[6] =	0.31041
Parcial [1][2].[7] =	0.54257	Parcial [1][4].[7] =	0.35805
Parcial [1][2].[8] =	0.55113	Parcial [1][4].[8] =	0.37656
Parcial [1][2].[9] =	0.54572	Parcial [1][4].[9] =	0.36043
Parcial [1][2].[10] =	0.55264	Parcial [1][4].[10] =	0.37347
Parcial [1][3].[2] =	0.28033	Parcial [1][5].[2] =	-0.00000
Parcial [1][3].[4] =	0.32106	Parcial [1][5].[3] =	0.26238
Parcial [1][3].[5] =	0.32995	Parcial [1][5].[4] =	0.19866
Parcial [1][3].[6] =	0.31119	Parcial [1][5].[6] =	0.20809
Parcial [1][3].[7] =	0.25524	Parcial [1][5].[7] =	0.25525
Parcial [1][3].[8] =	0.27283	Parcial [1][5].[8] =	0.26553
Parcial [1][3].[9] =	0.33024	Parcial [1][5].[9] =	0.25495
Parcial [1][3].[10] =	0.30931	Parcial [1][5].[10] =	0.26561

For example, correlations between alarms 1 and 2 for a given z, are all greater than the threshold of 0.2. It has been shown experimentally that a threshold equal to 0.2 is a good number to discard whether or not correlated variables.

The same is shown for correlations between 1 and 3. On the other hand, between alarms 1 and 4 there are values that are less than the threshold. That is, the partial correlation for 1 and 4, given as constant alarm 2, has a value of 0.000. Alarm 2 is a son of alarm 1 and father of alarm 3; thus, the relationship between grandfather (1) and grandson (3) is explained by the common father-son (2). The same is seen in the relationship between alarms 1 and 5. The resulting graph is shown in figure 3, after eliminating the redundant relationships.

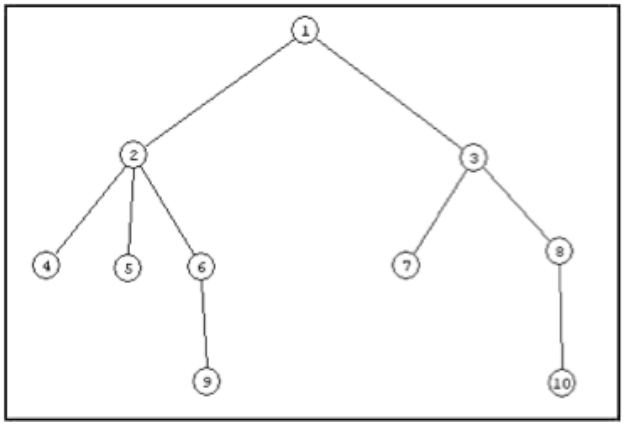


Figure 3. Not directed alarm tree

C. Conditional Probability

Conditional probabilities between alarms, which are also calculated from alarm files, are used to direct the graph. The conditional probability of alarm x given alarm y is:

$$P(A_x / A_y) = \frac{P(A_x \cap A_y)}{P(A_y)} \qquad (3)$$

For example, the array of probabilities shown below reflects the conditional probabilities of alarm i given alarm j in the corresponding position (i, j) for i different of j, and the probability of occurrence of the considered alarm when i is equal to j (diagonal).

Table 3. Matrix odds

Matriz de Probalidades:

0.012	0.347	0.156	0.185	0.118	0.123	0.097	0.088	0.070	0.067
1.000	0.035	0.239	0.533	0.340	0.355	0.200	0.176	0.202	0.165
1.000	0.531	0.077	0.391	0.347	0.391	0.623	0.565	0.329	0.427
1.000	1.000	0.330	0.065	0.389	0.457	0.326	0.280	0.317	0.278
1.000	1.000	0.459	0.609	0.102	0.580	0.457	0.430	0.453	0.424
1.000	1.000	0.495	0.685	0.556	0.098	0.457	0.425	0.568	0.412
1.000	0.714	1.000	0.620	0.556	0.580	0.124	0.668	0.531	0.573
1.000	0.694	1.000	0.587	0.576	0.594	0.737	0.136	0.551	0.757
1.000	1.000	0.734	0.837	0.764	1.000	0.737	0.694	0.172	0.702
1.000	0.857	1.000	0.772	0.750	0.761	0.834	1.000	0.737	0.180

By hypothesis, when an alarm occurs descendants also should activate your alarm.

The probability of the father given the occurrence of the son will then be lower than the probability of the son given the occurrence of the father. Therefore, with these conditional probabilities the directed graph is constructed. Therefore, when probability of alarm *i* given alarm *j* or P(Ai/Aj) is less than the probability of alarm *j* given i or P (Aj/Ai), then the link is from i to alarm j.

If this applies to the previous undirected graph, it achieves the directed graph that was assumed at first, as you can see in the next figure (Fig. 4):

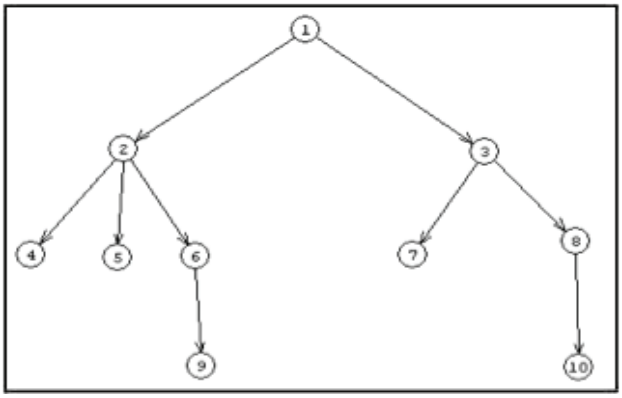


Figure 4. Prospect alarms tree

3. ADJACENCY MATRIX

A directed graph adjacency matrix is a squared matrix of dimension n, for n being the number of nodes (alarms). The matrix elements are 0, 1 for 1 when there is a link or edge between node 1, j or 0 otherwise. For the analyzed example the next adjacency matrix was obtained:

Table 4. Adjacency matrix of directed graph

Matriz de Adyacencia del grafo dirigido:

0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

As shown, it is possible to find a simple way to calculate the adjacency matrix file of a set of data alarm, if the following three conditions are met,

$$\begin{matrix} r_{ij} > Threshold \\ r_{ijk} > Threshold \end{matrix} \quad (\forall k \neq i,j)$$

$$P(\frac{A_i}{A_j}) < P(\frac{A_j}{A_i})$$

If all the conditions are fulfilled, then there are links between alarms i and j.

The adjacency matrix has an important feature. Elevating adjacency matrix to different

powers, it results in several matrixes indicating connections between nodes in different generations. Elevating the adjacency matrix to the nth power, it is possible to obtain the connections of nodes separated by n edges. For example, the following connection matrices are obtained:

Table 5. Connection matrices

```
Matriz de Conexiones de grado 2:
Alarma  1:              0 0 0 1 1 1 1 1 0 0
Alarma  2:              0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
Alarma  3:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
Alarma  4:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  5:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  6:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  7:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  8:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  9:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  10:             0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Matriz de Conexiones de grado 3:
Alarma  1:              0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
Alarma  2:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  3:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  4:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  5:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  6:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  7:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  8:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  9:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  10:             0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Matriz de Conexiones de grado mayor que 3:
Alarma  1:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  2:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  3:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  4:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  5:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  6:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  7:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  8:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  9:              0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Alarma  10:             0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

As shown, at row i of any n order matrix, it is possible to observe the descendants of order n or alarm i. On the contrary, if column i is seen it is possible to know the ascendants of order n in this alarm.

4. DISCUSSION

For the analysis of any particular case, the Problem Vector approach is utilized. The Problem Vector is a n dimension vector, for n being the number of alarms, formed by 1 and 0's being 1 if the alarm is set or 0 otherwise. Pre-multiplying this vector by the distinct adjacency matrices, values different from 0's are obtained in the alarm positions that are nth grade descendant of the Problem Vector alarms. A series of vector with zeros in the nth order descendants is obtained using the NOT statement with all these products. Thus, it is possible to logically multiply the previous results to filter all the descendant alarms from the Problem Vector. Finally, the previous product is logically multiplied by the Vector itself to obtain only the significant alarms belonging to the problem.

For example, assuming a vector problem with alarms 2, 8 and 10 the following Problem Vectors are:

For the example:

Problem * [A] = (0 0 0 1 1 1 0 0 0 1)

Problem * [A] = (0 0 0 0 0 0 0 0 1 0)

Problem * [A] = (0 0 0 0 0 0 0 0 0 0)

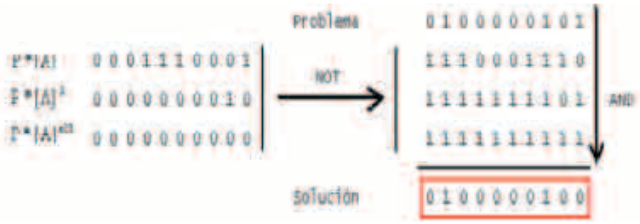
Problem * [A] = (0 0 0 0 0 0 0 0 0 0)

Applying the Boolean logical operations, the solution of significant alarms in a given time is:

Solution = (P) and {not (P * [A]} and {not (P * [A]2 }… and {not (P * [A]n≥3 }

being n such that $[A]^{n\geq 3}$ is the null array.

For the example:



Note that for the used problem vector the most significant alarms are 2 and 8, as seen in the following graph (Fig. 5).

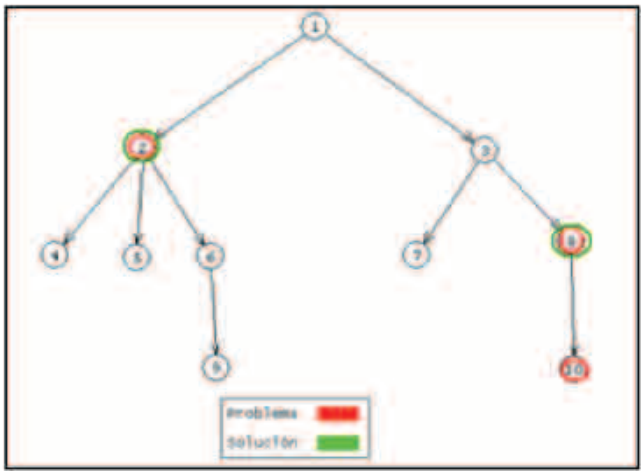


Figure 5. Example of analysis

5. SOFTWARE

To make all the calculations required for the creation of the directed graph of alarms, as well as for the analysis of any possible case of avalanche a software application was been developed. This customized software ("Alarm Tree") was programmed in Visual C++. It allows the user to open a file of alarms, consisting of 0's and 1's, and to calculate the adjacency matrix, that allows the analysis of different alarm avalanches. As seen in the Fig.6, the graphical interface of the program is very simple, being formed by three clearly differentiated blocks: alarm file, calculation of adjacency matrix and analysis avalanche alarms.

In the first block, it opens the file alarm to be studied. It is read in order to count both the number of lines (temporary windows) and columns (alarms).

The second block, the adjacency matrix calculation, calculates the correlations between alarms, partial correlations between all them and their conditional probabilities. The adjacency matrix is built with all these calculations. Once done the calculation process, the matrices all data are displayed.

The last block allows the analysis or the active alarms to obtain the significant root alarms of the systems.

In addition, the software has an Exit key and contact information about the author of the program.

Figure 6. Program "Árbol de Alarmas"

6. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Systematic treatment of massive alarms in electricity distribution and control centers is composed, typically, of a set of different methods that work together to solve the problem. Fig. 7 shows this methodology proposed by [1]. This work is intended to simplify the problem of alarm avalanches, achieving an easy way to obtain significant alarms in any case, starting with only data provided by the data acquisition system.

Future work is concerned with improving the software application. Among them it is possible to consider aspects such as incorporating a database with specific data from alarms and a response suggestion for them. Such improvement will help to analyze any avalanche and the decision-making process in terms of the root causes and possible failures in the system. Moreover, an application that allows the construction of the directed graphs and sub-graphs will be incorporated. Finally, other functions facilitating calculation handling, modifications or simulation of different conditions, can be added.

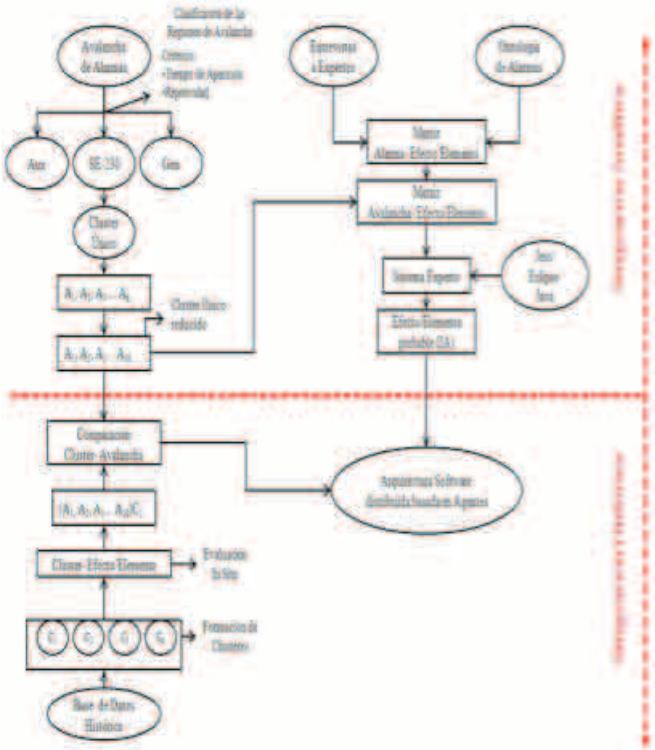


Figure 7. Usual methodology in the processing of massive alarms.

7. REFERENCES

[1] O. Aizpurúa, et al., "A New Methodology of Massive Alarm System, in Electrical Power Administration". 7th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Laccei 2009.

[2] K. Julisch, "Clustering Intrusion Detection Alarms to Support Root Cause Analysis". ACM Transactions on Information and System Security 6. 2003.

[3] I. A. Beinlich, H. J Suermondt, R. M. Chavez, & Cooper, G. F. "The ALARM Monitoring System: A Case Study with Two Probabilistic Inference Techniques for Belief Networks". 1989 Pearl, Judea. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann. 1988.

[4] J. Orr, y D. Westenskow, Journal of Clinical Monitoring. "A Breathing Circuits Alarm System Based on Neural Networks". Vol. 10, nº2, p. 101-109.Orr, J., et al., 1994 & Windsor, C.G., 1993

[5] B. Buchanan, and E. Short Life Rule-based expert systems, Readings (MA). USA: Addison-Wesley. 1984.

[6] Horvitz, E. and Barry, M. Proceedings of the 11th Conference on Uncertainly in Artificial Intelligence. Display of Information for Time-Critical Decision Making. p., 296-305. 1995

[7] L. Blázquez, and L. De Miguel, "Diagnóstico Automático de Fallos para Sistemas Dinámicos No-Lineales". Universidad de Nuevo León y Universidad de Valladolid. 1999.

Analysis of the Effectiveness on Reducing Welding Distortion of a Low Transformation Temperature Weld Wire

Adán Vega
Laboratorio Especializado en Procesos de Unión y Manufactura (LEPUM), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá
adan.vega@utp.ac.pa

Hidekazu Murakawa
Joining and Welding Research Institute, Osaka University, 11-1, Ibaraki, 567-0047, Japan
murakawa@jwri.osaka-u.ac.jp

David Dye, Miloslav Béres
Department of Mechanical Engineering, Imperial College London, London SW7 2AZ, UK
david.dye@imperial.ac.uk,
miloslav.beresm@dew-stahl.de

Abstract- *A three–dimensional numerical finite element model has been developed to predict the distortion pattern in butt welded specimens produced by welding of thin ferritic steel plates. The sensitivity of distortion to the filler metal used was examined using a conventional weld wire and a low transformation temperature weld wire. The model employed allows the effect of transformation start temperature (Ts) on distortion to be investigated. The results show that the usage of a low transformation temperature weld wire significantly reduces the weld distortion.*

Keywords- *(Solid–state phase transformation) (Displacive phase transformation) (Residual stress) (FEM) (Welding distortion)*

Resumen- *Un modelo tridimensional de elementos finitos ha sido desarrollado para predecir la distorsión producida por el proceso de soldadura de una lamina delgada de acero ferrítico. Dos tipos de materiales de aporte (un electrodo convencional y un electrodo de baja temperatura de transformación) fueron considerados y su influencia en la distorsión de la lámina soldada fue estudiada en detalle. El modelo desarrollado permite estudiar el efecto de la temperatura inicial de transformación en la distorsión de la lámina. Los resultados muestran que la distorsión producida por soldadura puede ser reducida considerablemente utilizando un electrodo de baja temperatura de transformación.*

Palabras Claves- *(Transformación de Fase en Estado Sólido) (Transformación de Fase No Difusiva) (Esfuerzo Residual) (Distorsión Producida por Soldadura) (Método de Elementos Finitos)*

Paper type: *Original*
Received: *January 24, 2011*
Accepted: *July 13, 2011*

1. INTRODUCTION

Over the past three decades, much progress has been made in developing numerical models for the thermal and mechanical stress and strain fields that develop around welds, with particular emphasis on the prediction of residual stresses [1]. However, the prediction of weld induced distortion has historically been more problematic, both because of a lack of understanding of the boundary conditions associated with the applied constraints and because of the difficulty of modelling buckling instability.

This is unfortunate because in many applications, such as shipbuilding, the control of distortion presents critical economic issues associated with the construction of large welded structures, for example the difficulty of fixturing and jigging presented by welding one welded assembly to another. Necessarily fabrication is often performed in field environments where process control is more problematic.

These conditions also limit the remedial measures, such as thermal tensioning, that can be taken to prevent distortion. In addition, any remedial approach should be capable of application to the full range of welding situations, e.g. to fillet and corner welds as well as to butt welds. Recently [2, 3], it has been suggested that the strain associated with phase transformations may be used to control the residual stresses and distortion that arise during welding, for instance by modification of the filler metals used in Gas Metal Arc Welding (GMAW).

However, for optimisation of the welding sequence and to develop an understanding of the transient stress fields that develop around the weld, it is desirable to be able to model the phase transformations, for example in a welding finite element simulation.

Recently, much progress has been made in this area in steels [4, 6], following on from early work on modelling the austenite → ferrite transformation during welding [7].

Of course, any weld model should in the first instance be validated against experimental data. First, the thermal conditions around the weld should be determined, typically using both thermocouples placed near the weld and the shape of the fusion zone. In addition the residual stresses can be characterised using incremental hole drilling, X–ray sin2ψ measurements, synchrotron X–ray or neutron diffraction [8, 9]. Finally the distortion itself can be characterised using, for example, photogrammetry or a co–ordinate measurement machine. Such validation provides confidence that any weld model developed may then be applied to varying plate geometries, enabling optimisation of the production sequence.

In the present paper, we develop a validated model for the GMA welding of thin ferritic steel plate using two types of filler metal, one with similar composition to the parent plate and one that easily undergoes a displacive phase transformation at relatively low temperatures on cooling of the weld metal, showing how the use of such filler metal leads to reduced distortion and lowered residual stresses in the weld.

2. WELDING TESTS

Weld trials were carried out to capture the characteristics of residual stress and distortion patterns generated in thin ferritic steel plates by GMAW procedure [10, 11]. The material chosen for base plate was a high strength low alloy DH–36 steel. In a trial, two plates of dimensions 500 mm long, 250 mm wide and 4 mm thickness were single pass butt welded. For filler material, two weld wires (1 mm in diameter) were used; one was a conventional weld wire (CW) which undergoes solid–state phase transformation at a relatively high temperature, 560 °C, and the other was the one with a low transformation temperature (LTT) i.e. 420 °C. The chemical compositions of the plates and the weld consumables are shown in Table 1. Nickel was the primary addition made to lower the transformation temperature in the LTT wire.

During manual welding the plates were rested, unclamped, on wooden pallets and held 4 mm apart by series of approximately 25 mm long tack welds at three locations with intervals of approximately 220 mm. A ceramic backing tile was used to contain the weld pool. The welding conditions employed are listed in Table 2. The overall heat input was nearly the same both welds manufactured.

During the welding trials the temperatures were measured at distances 7, 11.5 and 31 mm from the weld centre line as function of time using K–Type thermocouples. The thermocouples were spot welded on the top surface and measurements were conducted until the plates cooled down to room temperature.

After welding the residual stresses were analysed using neutron diffraction at the ILL, Grenoble, France using the SALSA diffractometer. These results have been previously reported [10, 12]. Post weld microstructural characterisation, distortion measurements, isothermal compression tests and dilatometric analysis on samples extracted from welded plates were conducted [13].

Table 1. Chemical composition (wt. %) of steel plate, conventional weld wire and LTT weld wire.

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Nb
Steel plate	0.11	0.18	1.29	0.01	0.004	0.02	0.03	0.03	0.01
Conventional weld wire	0.07	0.61	1.42	0.01	0.01	0.14	0.04	0.02	0.02
LTT weld wire	0.04	0.32	0.36	0.008	0.004	0.15	11.9	-	-

Table 2. Welding conditions employed

	Weld speed [mm s^{-1}]	Weld current [A]	Weld voltage [V]	Heat input [kJ mm^{-1}]	Parameter Q/h^2 [J mm^{-3}]
CW	2.7	150	18	1.00	62.5
LTTW	3.5	180	20	1.03	64.3

3. MODELLING APPROACH

Numerical simulation to analyse the thermal–mechanical response to welding was carried out using the finite element code JWRIAN developed at JWRI, Osaka University. This is based on the iterative substructure method [14]. Three–dimensional models were constructed and only half of the welded plate was modelled, applying symmetry along the weld line. The plate thickness was divided into four equal sized mesh elements, 1 mm in depth. In the weld zone, three elements, 1

mm wide (normal to weld line) and 2.5 mm long (in the direction of the weld line), were used. In the region further away from weld zone a coarser mesh was adopted. The model contains 18,500 elements and 23,855 nodes. The same mesh was employed for both the thermal analysis and the thermo–mechanical analysis, with compatibility between the strain and temperature fields being enforced at the point of interpolation of the temperature results into the mechanical analysis. The exact shape of the weld bead and the use of tack welds were not taken into account.

In the present study, the simulations were carried out sequentially: first the thermal analysis and then the thermo–mechanical analysis. In the thermal analysis, the transient temperature fields in the plates during welding were solved. The results were then used in thermo–mechanical analysis to calculate displacements, strains and stresses. This was done using a finite element (FE) model that accounts for the solid–state phase transformation by computing the transformation and thermal strains [13]. Temperature dependent mechanical and thermo–physical properties of the weld metal, base metal and austenite phase were used in the model. Yield stress and thermal expansion of the materials were determined experimentally, whereas other properties including the Young's modulus and Poisson's ratio were obtained from [15]. The mechanical properties employed are shown in Figure 1. For heating cycle, properties of LLTW, CW and base metal were used whereas for cooling, only the properties of the austenite phase were used prior to transformation. During a phase transition, the law of mixtures were applied to mechanical properties of the welded region and heat affected zone (HAZ) in order to take into account the different volume fraction of each phase [13].

In general, buckling of a perfectly flat plate under in–plane loading occurs instantaneously when the critical buckling load is reached. This is critical when performing computation involving buckling distortion. At the buckling load, it is difficult for finite element method (FEM) algorithms to find the buckled stable configuration and so often they continue to follow the unstable unbuckled configuration. To avoid such situation, usually a small amount of initial deflection is applied such that the FEM algorithm can follow the deflected shape and predict buckling. Very small load increments are required in the vicinity of the buckling load in order to obtain a correct solution.

In welding, the tendon force in the fusion zone (FZ) and heat affected zone cause compressive stresses in the plate outside the HAZ that may lead to buckling when welding thin plates. In the FEM analysis, these welding deformations provide the displacements that lead to the prediction of buckling by the FEM algorithm. However, depending on the state of deformation when the buckling load is reached, the welded plate can buckle in any direction; the system is unstable to perturbations. This makes comparison of different welding conditions difficult if buckling occurs in different directions in different trials. Therefore, in the present simulations, an initial upward angular deformation of 0.1 mm at the plate edges was defined in the plates to be welded. This allowed the buckling distortion to consistently occur in an upwards direction.

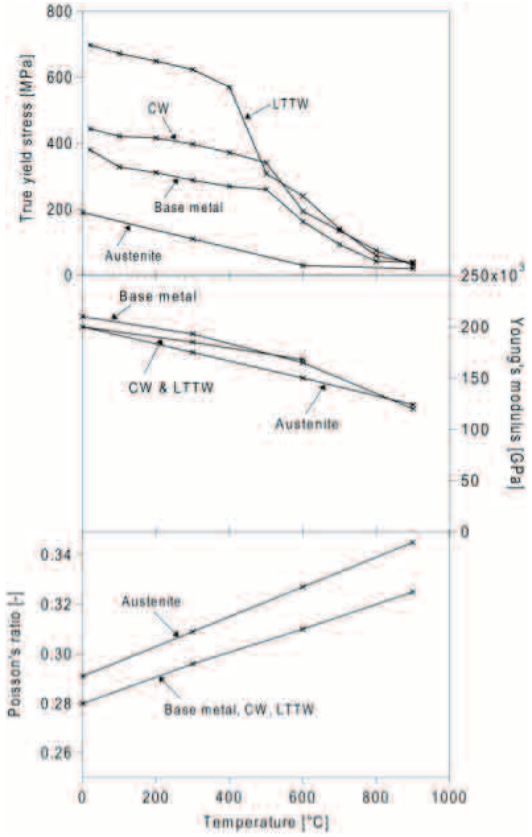


Figure 1. Temperature dependent mechanical properties employed in the computation for the a) yield stress, b) Young's modulus and c) Poisson's ratio [15]

The temperature dependent values used for specific heat capacity, material density and thermal conductivity for all materials and phases are shown in the Figure 2. [16]. A non–uniform heat flux was applied through the thickness with a volumetric heat source of dimensions 10 mm (length) × 3 mm (half–width) × 4 mm (depth). The total net heat input per unit length, Q, was described by the relationship:

$$Q = \eta IV/v \quad (1)$$

where η is the thermal efficiency, V and I are the weld torch voltage and current, respectively, and v the welding speed. A thermal efficiency, η = 0.6, was determined by matching the thermal analysis results to the experimental thermocouple measurements. By doing so, the wall–plug heat input was taken to be 0.60 kJ mm^{-1} for the conventional wire and 0.62 kJ mm^{-1} for the LTT wire. Convection and radiation heat transfer boundary conditions were employed at all plate surfaces and edges except along the symmetry plane where adiabatic conditions were applied. To account for heat losses through convection and radiation following relationship was used:

$$Qloss = h\,\Delta T \quad (2)$$

where $Qloss$ is the heat flux loss, h is the combined convection and radiation heat transfer coefficient and ΔT is the difference between surface and ambient temperature. The value of h was determined by comparing the computed thermal profile with the experimentally obtained thermal profile measurements during welding and subsequent cooling. The temperature dependence of the heat transfer coefficient is shown in the Figure 2. Mechanical constraints were applied at the symmetry plane and edge of the plate. The plate was allowed to deform freely; however rigid body motions were restrained.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The residual stress distribution in the welded plate should be known before modelling the distortion. The modelling results showed the presence of a compressive longitudinal stress of around -120 MPa at the weld centre line, Figure 3(a). This prediction agrees well with the measurements in the LTT wire (dashed lines). However the predicted transverse stresses for LTT wire are lower than those determined experimentally, especially near the fusion zone. The normal stresses were found to be small in both the modelling and experimental results, as expected for a thin plate.

In order to examine the effect the transformation start temperature, Ts, on the resulting residual stresses and distortion, a number of analyses have been performed by considering both the actual filler materials and various hypothetical fillers exhibiting a range of transformation start temperatures. The longitudinal stress prediction at the centre line at the plate mid–length is shown in Figure 3 (b). As Ts decreases, the stress near the weld centre line reduces and becomes compressive when Ts falls below 430 °C. The stress reaches a minimum (max. compressive value) of approximately -690 MPa when the Ts temperature is lower than 150 °C.

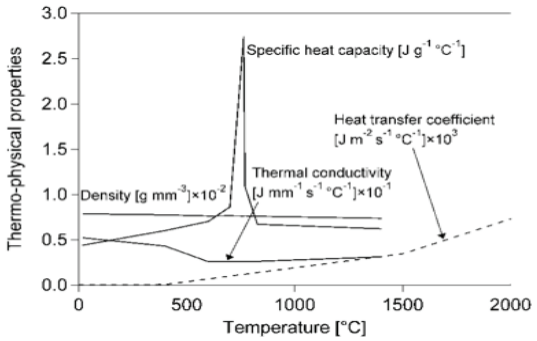


Figure 2. Temperature dependent thermo–physical properties and heat transfer coefficient employed for all materials and phases.

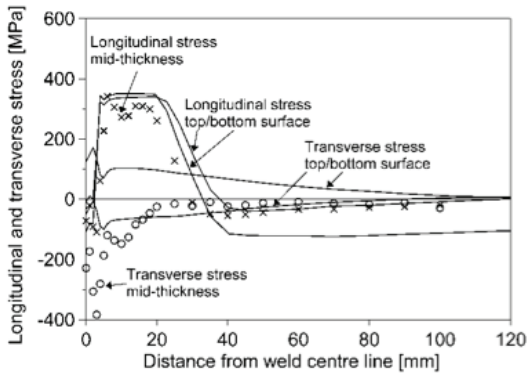
Figure 4 shows predicted contours of out of plane displacement at the top surface of the plate for the LTT wire with Ts of 420 °C. Mechanical constraints were applied: Points A and A" were restrained in the direction normal to the plate and in addition point A was restrained in the welding direction. The model was a half model, so at the symmetry plane at the weld centre line all elements were restrained in the transverse direction. The predicted out of plane displacement was greatest at the end of the weld, point B".

The distortion butterfly angle between the two sides of the plate along the lines ABC and A"B"C" was also measured, Table 3. Again, a

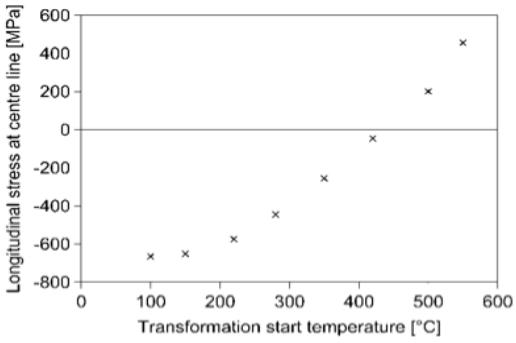
reduction on the order of 10 % in distortion is observed for the LTT wire compared to the CW, which is also predicted by the model. Here, model and experiment are in good agreement. Overall, the butterfly distortion is under–predicted by a similar factor to the over–prediction in the camber distortion mode, a phenomenon often observed in under determined buckling problems. Importantly, the trends between the LTT and CW cases are reproduced in magnitude and sign.

Table 3. Butterfly distortion in the plates (angle subtended along paths A–B–C, A''–B''–C'', in degrees).

	Start (A–B–C)		End (A''–B''–C'')		Average	
	CW	LTT	CW	LTT	CW	LTT
Experiment	4.0	3.7	6.2	5.3	5.1	4.5
Model	3.3	3.1	4.7	3.8	4.0	3.4



(a)



(b)

Figure 3. a) Comparison of computed longitudinal and transverse stresses (lines) with neutron diffraction measurements (points); b) predicted relationship between the longitudinal residual stress over range of transformation start temperature in the plate mid–thickness at the weld centre line [13].

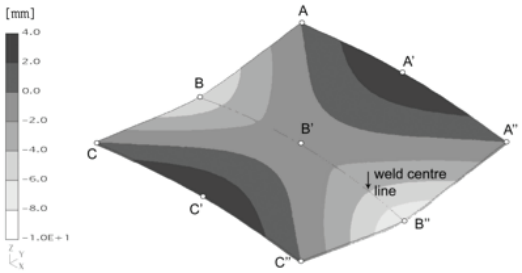


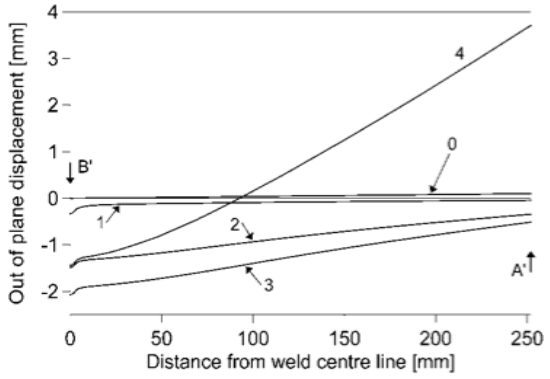
Figure 4. Predicted out of plane displacements for the model employing the LTT wire properties with Ts = 420 °C, where B denotes start, B'' end of welding, A' mid length at the plate edge and B' mid length at the weld centre line.

Figure 5. (a) shows the variation in out of plane displacement along the line B' – A' at different stages before, during and after welding for Ts = 420 °C. Initially, the plate is undistorted. However, as mentioned previously, in order to overcome the buckling instability problem, the initial angular distortion at A' is taken to be 0.1 mm (stage 0). At stage 1 – when the torch has just passed B', the plate begins to distort. Maximum distortion in the negative direction takes place at B'. Towards end of welding, stage 2, the distortion continues in the negative direction and B' has moved further to -1.4 mm. Between stage 1 and 3, negative displacement at the weld line (marked by B'), and relatively small and negative displacements at plate edge (marked by A') are caused by transverse angular distortion.

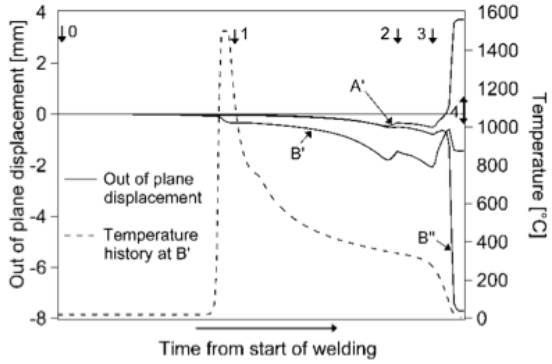
In cooling stage at around 250 °C i.e. at stage 3, the displacement along A' – B' starts to increase, and at the end of cooling (i.e. stage 4), the region near A' becomes positively displaced and region near B' remains negatively displaced. At this stage, a large curvature along the B' – A' is observed and the magnitude of the final distortion at the plate edge (of which A' is the mid–point) is twice that on the centre line (of which B' is the mid–point). Since the increase in displacement between stage 3 and 4 is not induced by transverse angular distortion (and no lateral loads that are suddenly applied to the plate and can cause such displacement were induced), it can be concluded that it is the result of buckling.

Figure 5. (b) shows the change in out of plane displacement as a function of (arbitrary) time at points A', B' and B''. At stage 1, when the torch approaches B', the region in vicinity of B' starts to displace negatively and remains negatively displaced to the end of cooling (stage 4). A variation of between 0 and 2 mm in the magnitude

of displacement was predicted at that point. From stage 1 up to stage 3, the displacements of the regions in vicinity of A' and B'' remain nearly constant and negative, and do not exceed 1 mm in magnitude. However, when the cooling commences (i.e. at around 250 °C), a sudden change of displacement is observed, as B'' displaces to -8 mm and A' to +4 mm. This indicates the occurrence of buckling distortion during cooling. This trend is observed only when large distortions are considered in the analysis.



(a)



(b)

Figure 5. Evolution of out of plane displacement predictions for LTT wire (Ts = 420 °C) a) at mid–length between A' and B', b) for individual points A', B', B'' at the mid–length and edge, together with the temperature at B'. Stage 0 – start of welding, 1 – torch just passed B', 2 – end of welding, 3 – during cooling at around 250 °C and 4 – end of cooling.

Transverse shrinkage was also examined as it is one of the fundamental dimensional changes that occur during welding and can induce distortion in fabricated structures [1]. Figure 6 shows the variation in transverse shrinkage as a function of distance from the weld centre line for different transformation temperatures. For this purpose, the point marked D was selected, 15 mm from the weld centre line, because due to rotation of the plate around the weld centre line (angular distortion) it is difficult to evaluate the effect of initial distortion on transverse shrinkage by considering a point at the plate edge. At D it can be assumed that only local shrinkage occurs and that the effect of plate rotation is negligible.

The results presented in Figure 6 shows that as Ts increases, the transverse shrinkage at point D decreases. In the fusion zone (FZ) and adjacent heat affected zone (HAZ), the shrinkage is accommodated plastically. As Ts decreases, the thermal strain imposed during cooling prior to transformation increases and so the shrinkage due to plasticity also increases, from 0.26 to 0.29 mm. The peak values at this point are plotted in Figure 7 as function of transformation temperature. The transverse shrinkage attains a maximum value of 0.29 mm at Ts ~ 280 °C. From this maximum value, the transverse shrinkage starts to decline with further reductions in Ts.

Three mechanisms can be identified that affect this behaviour:

(i) The transformation expansion, assumed to occur isotropically.

(ii) The coefficient of thermal expansion of the different phases, giving rise to different amounts of thermal strain to be accommodated. Since a phase–dependent thermal expansion coefficient was used in the numerical model and the expansion coefficient of austenite is larger than that of acicular ferrite, a lower Ts temperature results in a greater extent of shrinkage produced in the weld metal before cooling to Ts.

(iii) The relative stiffness of the FZ and HAZ during transformation. As the weld metal in the FZ and parent metal in the HAZ cools down, the relative material stiffness and strength in these two zones differs with temperature. When transformation takes place at high temperature, the weld material expansion in the longitudinal direction will be restricted by the HAZ (which is at a lower temperature and has higher strength and stiffness). The longitudinal transformation expansion is then changed into transverse positive (expansive) plastic strain. This causes the transverse shrinkage to decrease. As the transformation temperature decreases, the stiffness and strength of the FZ gradually becomes

closer to that of the HAZ. Therefore the HAZ can only restrict the FZ longitudinal expansion to a reduced extent and the expansive transverse plastic strain becomes less. Further, due to Poison's ratio (0.5 for plasticity), the longitudinal positive strain resulting in the HAZ is accompanied by transverse shrinkage. The decrease in transverse shrinkage becomes less than that when the transformation occurs at high temperature.

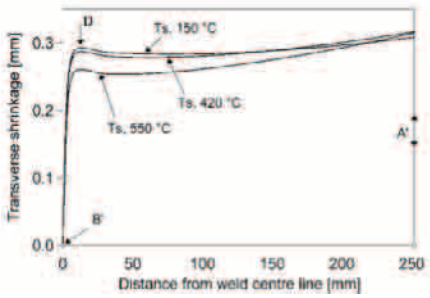


Figure 6. Transverse shrinkage predicted for a range of transformation start temperatures.

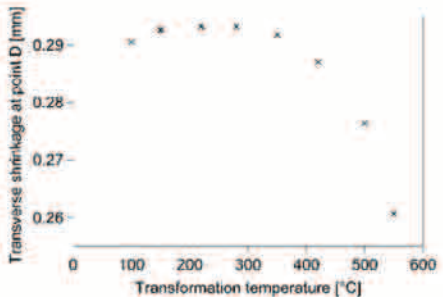


Figure 7. Relationship between maximal transverse shrinkage and transformation start temperatures at point "D", 15 mm from weld centre line.

Overall, dependence of transverse shrinkage on transformation start temperature depends on the relative magnitude of these three. Table 4 summarizes the cases that have been considered. In all cases in Table 4 the austenite start temperature, As, was set to 630 °C and the austenite finish temperature, As, was set to 770 °C.

Experimentally, initial distortion is observed to have a profound effect on the as–welded final distortion. Several computations evaluating the influence of initial angular distortion on the residual distortion were carried out. Initial angular distortion varied between 0.1 mm and 5 mm as shown in Table 5.

Figure 8 indicates that there is only a slight decline in additional distortion (distortion due to welding) with the increase of initial angular distortion.

Table 4. Details of the cases examined, where Ts denotes the transformation start temperature on cooling and Tf the transformation finish temperature.

Case	Ts [°C]	Tf [°C]	Longitudinal stress at point B' [MPa]	Displacement at point A' [mm]	Transverse shrinkage at point C [mm]
1	550	450	456	4.27	0.261
2	500	400	201	4.12	0.277
3	420	320	-46	3.73	0.287
4	350	250	-255	3.58	0.292
5	280	180	-445	3.50	0.293
6	220	120	-575	3.28	0.293
7	150	50	-651	3.15	0.293
8	100	0	-665	3.15	0.291

Table 5. Summary of cases examined when considering initial angular distortion for a transformation start temperature of 420 °C.

Case	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Initial angular distortion [mm]	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Final camber distortion [mm]	3.73	3.72	3.72	3.71	3.68	3.51	3.36	3.20	3.08
Transverse shrinkage [mm]	0.287	0.287	0.286	0.284	0.282	0.276	0.271	0.266	0.262

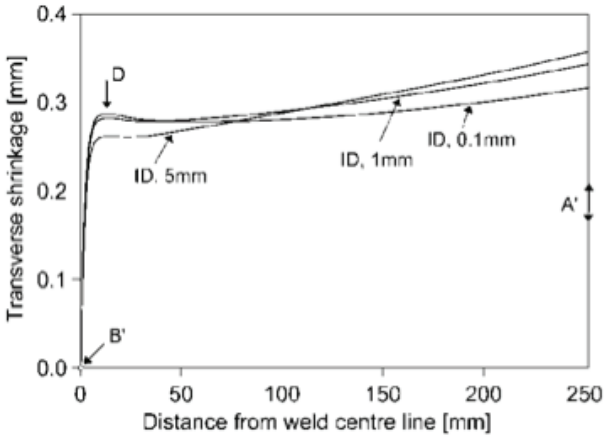


Figure 8. Variation in transverse shrinkage at the plate mid–length, where "ID" denotes initial angular

distortion in mm.

5. CONCLUSIONS

A three–dimensional numerical finite element model has been used to predict the distortion pattern in butt welded specimens produced by GMA welding of thin ferritic steel plates. The sensitivity of distortion to the filler metal used was examined using a conventional weld wire and a low transformation temperature (LTT) weld wire.

The model employed calculates the phase transformation strain in addition to the thermal strain, allowing the effect of transformation start temperature (Ts) on distortion to be investigated.

The transient evolution of distortion was analysed. The following conclusions can be drawn from this work

1. The proposed FE model is capable of predicting both the residual stresses pattern and the distortion observed.
2. The results indicate that a Ts below 400 °C results in compressive residual stresses in the fusion zone. Generally, a reduced Ts leads to lower residual stresses in the weld region and consequently to a substantial reduction in distortion.
3. Fairly good quantitative agreement between the calculated and experimental results was achieved.
4. Transient distortion analysis revealed that the majority of the camber distortion arises towards end of cooling, after welding is complete.
5. Transverse shrinkage was explained as function of Ts and initial angular distortion.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially support by the Panamanian Secretary of Science and Technology (SENACYT), through a grant for International Collaboration (APY-GC10-044 A-2010). Their contribution is greatly appreciated.

7. REFERENCES

[1] Masubuchi, K., Analysis of welded structures: residual stresses, distortion, and their consequences, 1980: Pergamon Press, Oxford.

[2] Bhadeshia, H., Possible effects of stress on steel weld microstructures, Institute of Materials, Mathematical Modelling of Weld Phenomena 2, 1995(United Kingdom), pp. 71-118.

[3]Bhadeshia, H., Developments in martensitic and bainitic steels: Role of the shape deformation, Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2004, 378(1-2), pp. 34-39. 10.1016/j.msea.2003.10.328

[4] Deng, D., Hidekazu, M. and Yukihiko, H., FEM Simulation of Welding Residual Stress in Multi-pass Butt-welded Modified 9Cr-1Mo Steel Pipe Considering Phase Transformation Effects, Transactions of JWRI, 2004, 33(2), pp. 167-176.

[5] Deng, D., FEM prediction of welding residual stress and distortion in carbon steel considering phase transformation effects, Materials & Design, 2009, 30(2), pp. 359-366.

[6] Mikami, Y., Morikage, Y., Mochizuki, M. and Toyoda, M., Angular distortion of fillet welded T joint using low transformation temperature welding wire, Science and technology of welding and joining, 2009, 14(2), pp. 97.

[7] Leblond, J. B., Devaux, J. C., Mottet, G. and Devaux, J., Mathematical models of anisothermal phase transformations in steels, and predicted plastic behaviour, Materials Science and Technology; MST, 1984, 1(10), pp. 815-822.

[8] Stone, H. J., Withers, P. J., Roberts, S. M., Reed, R. C. and Holden, T. M., Comparison of three different techniques for measuring the residual stresses in an elecltron beam-welded plate of Waspaloy, Metallurgical and Materials Transactions; A; Physical Metallurgy and Materials Science, 1999, 30A(7), pp. 1797-1808.

[9] Jensen M.V.R.S., Dye D., James K.E., Korsunsky A.M., Roberts S.M. and Reed R.C., Residual stresses in a welded superalloy disc: Characterization using synchrotron diffraction and numerical process modeling Metallurgical and Materials Transactions A, 2002, 33(9), pp. 2921-2931.

[10] Davies, C. M., Béreš, M., Hughes, D., Dye, D. and Nikbin, K. M., The Influence of Geometric and Welding Parameters on Residual Stress in Thin Welded Steel

Structures, in Proceedings of PVP2009 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 26th-30th 2009, Prague, Czech Republic.

[11]Davies, C. M., Wimpory, R. C., Béreš, M., Lightfoot, M. P., Dye, D., Oliver, E., O'Dowd, N. P., Bruce, G. J. and Nikbin, K. M., The Effect of Residual Stress and Microstructure on Distortion in Thin Welded Steel Plates, in Proceedings of PVP2007 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 22-26, 2007, San Antonio, Texas.

[12]Davies, C. M., Wimpory, R. C., Dye, D. and Nikbin, K. M., The effect of plate dimensions on residual stresses in welded thin steel plates, in Proceedings of the ASME Pressure Vessels and Piping Conference - 2008 Vol. 6, 2009, Amer Soc Mechanical Engineers, New York, pp. 309-319.

[13]Murakawa, H., Béreš, M., Davies, C., Rashed, S., Vega, A.,Tsunori, M., Nikbin, K., Dye, D., The Effect of Low Transformation Temperature Weld Filler Metal on Welding Residual Stress, submitted for Science and Technology of Welding & Joining in February 2010.

[14]Nishikawa, H., Serizawa, H. and Murakawa, H., Actual application of FEM to analysis of large scale mechanical problems in welding, Science and technology of welding and joining, 2007, **12**(2), pp. 147-152. 10.1179/174329307x164274

[15]Bhadeshia, H. K. D. H., Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, Eds. G.E. Totten, M.A.H. Howes, T. Inoue, ASM International, 2002.

[16]Tsunori, M., Davies, C. M., Dye, D. and Nikbin, K. M., Numerical Modelling of Residual Stress and Distortion in Thin Welded Steel Plates, in Proceedings of PVP2008 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 27th-31st 2008, Chicago, Illinois, USA.