



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las  
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

**49**



<b>Modificaciones propuestas al Sistema Sandino de Camagüey para diseños sostenibles de viviendas .....</b>	<b>1</b>
<b>Las microrredes y los riesgos de desastres .....</b>	<b>16</b>
<b>Viviendas económicas de ferrocemento.....</b>	<b>25</b>
<b>Procedimiento para la gestión de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba.....</b>	<b>41</b>
<b>Comparación de métodos de análisis bajo carga de viento en una torre autoportada.....</b>	<b>56</b>
<b>Biofertilizantes a partir de residuos agrícolas.....</b>	<b>68</b>

## **Modificaciones propuestas al Sistema Sandino de Camagüey para diseños sostenibles de viviendas**

### **Modifications proposed to the Sandino System of Camagüey for sustainable housing designs**

*Por M.Sc. Arq. Kenia Suárez Gerard\*,  
Arq. Dayron Serrano Casañas\*\* e Ing. Ainel Hernández Ledesma\*\*\* \**

*Facultad de Construcciones, Universidad de Camagüey  
Ignacio Agramante y Loynaz, Camagüey, Cuba.*

*\*\* Empresa de Proyecto e Ingeniería  
y Arquitectura (EPIA 11), Camagüey, Cuba.*

*\*\*\* Planta de Armado del Combinado Fernando Álvarez, Camagüey, Cuba.  
e-mail: kenia.suarez@reduc.edu.cu e-mail: jmorales@cubasolar.cu*

### **Resumen**

Este trabajo se enfoca en el sistema prefabricado Sandino que se produce en la ciudad de Camagüey por los problemas que ha presentado en sus aspectos estético-formales, físico-ambientales y técnico-constructivos, que provocan una notable disminución de su demanda y uso para la edificación de viviendas. Esto tiene disímiles causas que recaen en la mala calidad de terminación, la rigidez de diseño y los espacios reducidos, y la producción obsoleta del surtido de elementos que tiene la planta en la provincia, entre otras incidencias. Por ello se considera necesario introducir el manejo de la sostenibilidad desde la etapa de producción de los elementos hasta las variantes de diseño que pudieran generarse, para dar soluciones a estas dificultades y disminuir el consumo de materiales y energía. Por tanto, el objetivo principal de la investigación es plantear propuestas de modificaciones a elementos del sistema Sandino de Camagüey donde se apliquen principios de sostenibilidad. Principalmente se trabaja en el estudio de los paneles, porque se pretende cambiar sus espesores en función de aligerarlos y lograr además mayor confort ambiental. Se desean reformar además los marcos y generar una media columna. Al mismo tiempo, se hizo un llamado de atención sobre la necesidad de que en Camagüey se apliquen los perfeccionamientos realizados al Sistema que se ejecutan en otras provincias. Se ofrecen igualmente, croquis de viviendas donde se ilustran las ventajas que podrían lograrse con los cambios y adecuaciones expuestos, acompañados de diseños con principios bioclimáticos.

**Palabras clave:** Sistema constructivo Sandino, sostenibilidad, vivienda

## **Abstract**

This article focuses on the Sandino prefabricated construction system that is produced in the city of Camagüey, due to the problems it has showed in its aesthetic-formal, physical-environmental and technical-constructive aspects, which has lowered its demand and use. Several are the causes leading to the bad quality of the final product, inflexibility of design and reduced spaces, and the obsolete production of the assortment of elements that the plant has in the province, among other factors. Therefore, it is necessary to introduce the concept of sustainability from the production stage to the design of alternatives that could be generated, to provide solutions to these difficulties and reduce the consumption of materials and energy. The main objective of this article is to present proposals for modifications to certain elements of the Sandino system in Camagüey centered on sustainability principles. Mainly we work in the study of the panels, because it is intended to change their thickness and mass achieving a greater environmental comfort. It is also desired to reform the frames and generate a half column. Besides, it is necessary to implement the improvements made to the System in other provinces. Sketches of houses are offered, illustrating the advantages that could be achieved with the changes and adaptations showed, including designs with bioclimatic principles.

**Keywords:** Sandino prefabricated construction system, sustainability and housing

## **Introducción**

El sistema prefabricado Sandino que se produce en la ciudad de Camagüey ha tenido una notable disminución en su demanda y aplicación para la edificación de viviendas por parte de las empresas y organismos que lo comercializan, y por la propia población que no lo valoran como una alternativa constructiva viable. Esta reacción tiene su origen en dificultades de diversa índole, ya sean generadas en las propias plantas de prefabricado, en las etapas de diseño y ejecución de las obras, así como en los mecanismos para la venta y la falta de orientación y promoción sobre el Sistema.

Esta solución constructiva se emplea de forma masiva en Cuba desde la década de los 60. Sin embargo, aun cuando resolvía en parte la problemática habitacional, su rigidez en el diseño, las dimensiones mínimas y las afectaciones físico-ambientales que surgieron, fueron provocando que los habitantes transformaran sus residencias, y que en las nuevas construcciones se prefiriera la construcción tradicional a pesar de que esta necesita más recursos, más mano de obra y mayor tiempo de ejecución.

No obstante, en el país se ha venido perfeccionando el Sistema y en otras provincias se ha modificado, obteniendo favorables resultados que no son conocidos por todas las empresas ni entidades productoras y proyectistas del país, por no existir una apropiada divulgación e intercambio entre estas y menos aún, con los ciudadanos. Esto inspiró a especialistas e investigadores de empresas y de instituciones como la Universidad de Camagüey para que a partir de las buenas prácticas se abogara por la apropiación de esas experiencias y se modificara parte del surtido de elementos que hoy resulta poco funcional y económico, en la Planta de prefabricado #7 Combinado Fernando Álvarez [Raventos, 2007]. Los principales cambios se enfocan hacia la constitución de los paneles de cierre y marcos de ventanas. Es decir, se hace una propuesta de modificaciones y adecuaciones a varios de sus elementos componentes, con lo cual se espera contribuir a la producción viable de viviendas en la provincia de Camagüey.

### **Algunos criterios sobre la eficiencia y sostenibilidad en sistemas constructivos de mediano y pequeño formato que incluyen al Sandino**

El ingeniero Nicolás Soto Ordóñez, de la Empresa de Mantenimiento y Construcción del Poder Popular Provincial de Cienfuegos, expresa en su ponencia para la 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura de La Habana que el sector de la construcción contribuye de manera importante al deterioro del medio ambiente y los cambios del clima; ello se produce en sus distintas etapas como la extracción y fabricación de materiales, y el diseño de la edificación y de sus instalaciones, todo lo cual influye decisivamente en el rendimiento energético de la obra, así como en su gestión y uso de los residuos [Soto, 2012].

En este caso se utiliza el estudio realizado a los sistemas prefabricados de pequeño y mediano formatos —clasificación establecida por las características elementales de los elementos componentes en cuanto a dimensiones, peso relativo y montaje manual o con medios mecánicos simples—, que incluye al Sandino para ilustrar que siempre se puede mejorar la eficiencia de un sistema si se pone interés en ello.

La sostenibilidad en el proceso de construcción está determinada por varios subprocesos del ciclo de vida de la edificación, que abarca desde la producción de materiales, la ejecución de obra hasta su uso y mantenimiento. En la producción de materiales, su consumo está condicionado por la naturaleza de la materia prima a utilizar y su capacidad de recuperación natural, así como por la posibilidad de reciclado de los productos para su conversión en nueva materia prima. El consumo de energía es uno de los aspectos de gran importancia que influye en el ciclo

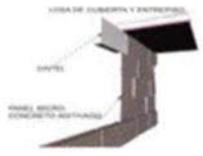
de vida de las construcciones, y su importancia radica en el impacto que ocasiona determinada tecnología sobre el medio ambiente; por ello, en dependencia de la solución constructiva se hace necesario determinar el consumo energético al considerar el tipo de material y la cantidad que se utiliza. También el proceso de construcción consumirá energía, en función de la tecnología que se emplee.

Se pueden citar varios sistemas constructivos ligeros empleados en Cuba que contribuyen radicalmente a mitigar el impacto ambiental por contaminación y consumo de materiales no renovables; entre ellos están el Sandino, el Sistema constructivo Bloque-Panel, el Sistema Simplex, el Sistema de Edificaciones Residenciales (SER) y el Sistema Constructivo Integral AVANTEC.

De la ejecución de obras hay que señalar la capacidad de los sistemas constructivos en la reducción del consumo de mano de obra y la producción de escombros, así como en su recuperación y reciclado. En el uso y mantenimiento aparecen dos condicionantes básicas de la sostenibilidad; por un lado, el ahorro en el consumo de energía, y por otro, el equilibrio en el mantenimiento del edificio tiene por objeto reducir los gastos en su conservación. De hecho, estos últimos se asumen cuando el daño ya se ha producido, con el resultado de un mayor gasto. El mantenimiento preventivo evita la aparición de los distintos procesos patológicos, lo que aumenta de esa manera la durabilidad del edificio y cada una de sus partes.

El estudio de los anteriores sistemas constructivos, por Nicolás Soto, fue realizado desde la óptica sostenible, en la cual se abordan las consecuencias que conllevan sus técnicas de ejecución, se evalúa la interacción con el medio ambiente y se caracteriza, a través de los análisis del ciclo de vida, el impacto ambiental que llegan a producir. En la tabla 1 se muestra el consumo de materiales y energía en la etapa de producción de elementos de los sistemas constructivos antes citados; en este caso se resalta el Sandino que es el objeto de estudio. Debe aclararse que también se valoraban sistemas de gran formato como el Gran Panel y el Sistema Losa Hueca-Gran Bloque (Sistema LH-GB), pero para esta investigación solo se consideraron los datos de sistemas que guardan cierta relación con el estudiado.

*Tabla 1. Consumo de materiales y energía de los diferentes sistemas constructivos prefabricados de pequeño formato en Cuba*

Sistemas constructivos		Consumo de materiales			Consumo de energía por m <sup>2</sup> de construcción a partir del consumo de materiales, MJ/m <sup>2</sup>
		Hormigón, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Cemento, kg/m <sup>2</sup>	Acero, kg/m <sup>2</sup>	
Sistema Sandino		0,217	88	11,6	7 451,26
Sistema Simplex		0,20	48	12	6 770,76
Sistema Bloque-Panel		0,24	50	12	7 957,90
Sistema Avantec		0,012	10,2	0,015	523,9
Sistema SER		0,033	20,62	6,6 (acero ALE)	1 362,62 MJ/tm <sup>2</sup> (losa canal de ferrocemento)

*Fuente: Nicolás Soto Ordóñez, en la XVI CCIA de La Habana.*

El análisis demostró que conforme aumenta el consumo de materiales, también aumenta en igual medida el consumo de energía. El sistema que presentó mejores resultados fue el Avantec, que logra, en comparación con los demás sistemas, reducir hasta 80% el consumo de energía promedio. Sin embargo, el Sandino resulta ser de los más consumidores, y por tanto, aun cuando se reconoce que este sistema ofrece muchas ventajas, se evidencia que requiere de transformaciones en el surtido de sus elementos, para que desde el punto de vista técnico-constructivo se manifieste viable.

Este aspecto y otros, como los físico-ambientales, los estéticos y los funcionales, encontraron una valoración crítica por parte de la población y de especialistas.

A continuación se exponen los resultados basados en el análisis de opiniones e informaciones obtenidas de la aplicación de encuestas y entrevistas.

### **Elaboración y aplicación de encuestas y entrevistas realizadas al personal especializado y pobladores residentes sobre el Sistema Sandino en Camagüey**

Para la realización de trabajo se aplicaron diferentes técnicas de investigación, entre las que resultan de gran aporte las entrevistas y las encuestas, pues contribuyen a detectar las potencialidades y deficiencias del Sistema. Se encuesta en este caso a un grupo de inquilinos que residen en viviendas construidas con el sistema prefabricado, los cuales pertenecen a los repartos Victoria de Girón y Paco Borrero; las tipologías arquitectónicas allí existentes eran de viviendas unifamiliar y biplanta.

Para el intercambio con la población se hacen preguntas sencillas relacionadas con el tiempo que han residido en sus hogares, así se conocen directamente las experiencias que han tenido en ese período. Principalmente se indaga acerca de su opinión crítica hacia la solución formal y constructiva que ofrece el Sistema (con las limitaciones que desde el punto de vista profesional y técnico estos puedan tener). Se les solicita el criterio sobre las ventajas y desventajas que han visto o sufrido, por las cuales han realizado transformaciones o desean acometerlas en la vivienda, ya que en el trabajo de campo realizado se pudo observar que 80% de las casas han sido transformadas en sus fachadas y prácticamente igual porcentaje de cambios se produjo hacia el interior con implicaciones estructurales.

Como resultado de la visita a un total de 18 casas, pese a las dificultades con algunos vecinos que no desearon participar en las encuestas, se puede decir que esta observación fue de gran interés, pues por ejemplo, en el Reparto Victoria de Girón se visitaron 8 hogares en los cuales sus residentes afirman que han vivido con el Sandino entre 29 y 33 años. Las respuestas arrojaron que la gran mayoría se siente inconforme con la solución constructiva que poseen sus residencias, lo que se resume en el casi total rechazo hacia el sistema constructivo. Estas residencias fueron levantadas en los años 80 con fuerza de trabajo de poca preparación técnica y baja exigencia en cuanto a la calidad, con lo que se atenuó la demanda de viviendas en aquel entonces, pero con el tiempo se revirtieron en edificaciones con graves problemas constructivos y de terminación.

A esto se añade que uno de los criterios adversos más coincidentes recae sobre la inadecuada ventilación. Se comprobó que la totalidad tiene inconformidad hacia las condiciones de ambientación. Esto es provocado, sobre todo, por la densidad de los paneles, que acumulan considerablemente el calor en los espacios. Del mismo modo la población emitió sus opiniones en aspectos espacio-ambientales y funcionales, ya que se cuestionaron acerca de las dimensiones de los espacios que impiden la comodidad, e inclusive la distribución adecuada del mobiliario. Se preguntaron además el por qué no se construían closets en las viviendas, y los servicios sanitarios eran tan pequeños y tan alejados de las habitaciones.

Desde el punto de vista constructivo señalan como ventajosa la rapidez de montaje, y comentan que en presencia de eventos meteorológicos el Sistema se comporta de manera estupenda con excepción de las cubiertas de asbesto cemento que a causa de los fuertes vientos sufren cada año un deterioro mayor, que conlleva en muchos casos a sus roturas. Por otro lado, las entrevistas fueron dirigidas a profesionales, especialistas y técnicos que han diseñado o ejecutado obras con tecnologías de producción prefabricada. Las mismas permiten nutrirse de las experiencias que puedan aportar, así como de las ideas y los comentarios que contribuyan a fortalecer la base documental de esta investigación. Según la opinión de operarios y directivos de plantas de prefabricado y del Gobierno municipal de Camagüey, existe rechazo por construir con el Sistema Sandino.

Una de las preguntas en las que se puso el mayor énfasis, fue acerca de cuáles elementos componentes del sistema resultan convenientes modificar, perfeccionar o rediseñar en las plantas de la provincia, para lograr mejores soluciones arquitectónicas; inclusive, se consideran las transformaciones que por cuenta propia realizan los propietarios de este tipo de viviendas. Igualmente, un aspecto del que se requiere información es conocer si las plantas de prefabricado disponibles en la provincia pueden asumir las modificaciones de elementos y terminaciones del Sandino que se consideran necesarias. Además, los entrevistados pueden aconsejar acerca de qué proponen como soluciones óptimas para entresijos y cubiertas al considerar las características propias del Sistema, incorporando criterios ecológicos y de producción local para un mejoramiento estético-visual y espacio-ambiental.

Se contó con la cooperación de 11 expertos, que de alguna manera u otra han trabajado con el sistema Sandino, quienes ofrecieron criterios valorativos acerca de esta solución. Las instituciones y/o empresas a las que pertenecen son la Empresa de Producción Industrial en Camagüey (EPIC), la Planta de Armado del Combinado Fernando Álvarez

—la cual elabora los principales elementos componentes del sistema constructivo que se estudia— el Programa de Arquitectos de la Comunidad y la Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones de las FAR (EMPIFAR). En el contexto académico se contó con la participación de profesores de la Facultad de Construcciones de la Universidad de Camagüey (dos arquitectos y tres ingenieros civiles) y se tuvo la oportunidad de intercambiar opiniones con profesores de gran experiencia de las universidades de Santa Clara y la CUJAE.

Es de reconocer que la mayoría de los especialistas apoyan el sistema, y lo describen como uno de los mejores sistemas constructivos prefabricados de pequeño formato, diseñados no solo a nivel nacional, sino para otras regiones del continente. Señalan que la principal causa del rechazo del que es objeto hoy en día recae en su desconocimiento.

Es una realidad que en el territorio camagüeyano la divulgación del Sandino y de otros materiales y tecnologías no se ha generalizado, y es por ello que los principales inversionistas y los constructores por esfuerzo propio carecen de la información necesaria.

Por otro lado, las entidades y personas encargadas de la administración de los recursos no ofrecen los materiales necesarios para la producción, en este caso de nuevos moldes para mejorar elementos del Sistema, lo que compromete su desarrollo en la provincia.

Algunos entrevistados señalan como principales desventajas la cantidad de juntas necesarias entre los paneles y las columnas, pues esto afecta desde el punto de vista estético-visual la terminación en fachadas, y constructivamente influye en el monolitismo de la estructura. Otros expertos destacan que no se prevén las instalaciones eléctricas y sanitarias como se concibió en el Sistema, lo que incide luego en su ejecución. Por estas y más razones fueron recogidas las sugerencias encaminadas a mejorar las principales deficiencias detectadas. Entre ellas cabe destacar las acciones para lograr una buena terminación de los elementos, al comprobar su inadecuada compactación en la batería vertical en las plantas, lo que determina el acabado final. Otras opiniones son más radicales, pues plantean modificar los paneles o sustituirlos por elementos como los del sistema Bloque-Panel que usa las mismas columnas del Sandino.

Se propone que se modifiquen los paneles para generar menos juntas, y que haya cambios en el espaciamiento entre ejes de columnas para permitir la colocación de ventanas de 2 y 3 paños. Indican además que se prefabriquen vasos, zapatas y cerramientos para agilizar la construcción, como se hace en el Sandino perfeccionado que aplican otras provincias, para mejor terminación y agilidad del proceso ejecutivo.

Se afirma que las plantas de prefabricado pueden asumir las modificaciones de elementos y terminaciones del sistema Sandino, siempre y cuando se haga una remodelación de los moldes existentes. Estas plantas se limitan a los planes de producción y a los diseños por parte de los suministradores, sin considerar que si se crean nuevos modelos a prefabricar se diversifican los moldes de la planta y con ello su capacidad de producción, venta y surtido [CTMC, 2007].

También se consultó acerca de las soluciones de entresijos y cubiertas producidas local o nacionalmente consideradas óptimas para el Sistema, y se valoraron algunas variantes que en caso de las cubiertas pudieran ser: las viguetas pretensadas y bovedillas de poliespuma, las pre-losas de poliespuma con la vigueta incorporada —esta última fue puesta en práctica en las viviendas construidas en Santa Cruz del Sur por los ciclones del 2008—; el sistema de vigueta de hormigón y bovedilla de cerámica, y para disminuir la carga de la estructura se propusieron soluciones con hormigón aligerado con perlas de poliestireno expandido que además contribuye a la reducción de la transmisión térmica (Mortero Lia). Como soluciones para entresijos se sugirió retomar las losas planas prefabricadas con los pases para la colocación de las columnas en los entresijos, conocidas como Losas Morffe, y el uso de viguetas pretensadas y bovedillas de poliespuma, para entresijos fundamentalmente [Pérez, 2008].

### **Ideas para modificaciones a elementos componentes del sistema Sandino y confección de tablas con las propuestas**

Luego de los análisis anteriores, con un peso importante en los resultados de las encuestas y entrevistas realizadas, se hizo una selección y determinación de aquellos elementos que basados sobre todo en la posibilidad de ejecución o de solución local pudieran ser modificados para lograr un diseño más adecuado en las viviendas.

Los elementos propuestos a modificaciones, o a adecuaciones de lo que se realiza en otras provincias son: los paneles, las columnas, la carpintería y la cimentación.

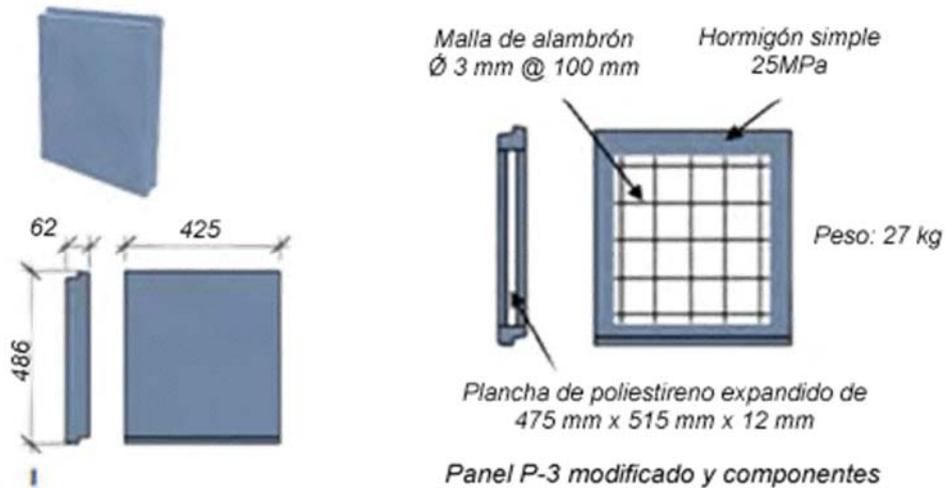


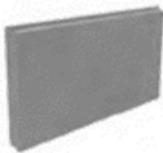
Fig. 1. Ejemplo de panel aligerado de 425 mm denominado P-3.

Paneles: Estos elementos se consideran como los de mayor importancia para la propuesta de transformaciones. En la actualidad se realizan los ensayos correspondientes en el Combinado Fernando Álvarez para modificar su composición, con el objetivo de aligerarlo y mejorar el aislamiento térmico. Para ello se añadiría un núcleo de poliestireno expandido (poliespuma) y una malla de alambón para fortalecerlo y prevenir las roturas durante su manipulación. En la figura 1 se ofrece un esquema de una idea de cambio para el panel P-3.

Debido a que el sistema constructivo Sandino consta de columnas espaciadas a 1,04 m, la carga que soportan los paneles es mínima, por lo que es factible crear estas condiciones. Igualmente se toma referencia de lo realizado en otras provincias y con el estudio de las modificaciones realizadas al Sistema a través de otros como el Sandino PF, y se propone lograr variaciones en las longitudes de los paneles (lo que incorpora nuevas modulaciones) y mejorar la articulación de la vivienda, que posibilita la construcción de closets con los propios elementos del Sistema Sandino PF. Las dimensiones de los paneles a incorporar serán de 945 mm (panel producido actualmente en la Planta de Armado), 685 mm (principalmente para la colocación de la carpintería) y 425 mm (para closets y otros) (Tabla 2).

Marcos de ventanas: Con énfasis en el marco prefabricado, se propone construirlo de hormigón armado, con la función de dintel y de cierre de la estructura entre los dos paneles que alojarán la ventana doble. En el caso de las ventanas simples, estas solo se deslizan entre las columnas que las alojan y se rellena el espaciamiento con mortero (ver Tabla 2).

*Tabla 2. Estado actual del elemento y la modificación que se propone, así como una breve descripción técnica y consideraciones a tener en cuenta para su ejecución*

Elemento actual	Elemento modificado	Descripción	Consideraciones
 <p>Panel Sandino P-1</p>		<p>Panel compuesto con poliestireno expandido y malla de alambón</p>	<p>Se proponen varias modulaciones</p>
 <p>Marco prefabricado</p>		<p>Marco prefabricado de hormigón armado con función de dintel para alojamiento de ventanas dobles</p>	<p>Las ventanas simples se insertan directamente entre los paneles</p>

**Cimentación:** Los elementos componentes de esta estructura entran dentro del grupo de adaptaciones o sugerencias que se hacen a partir de lo ya logrado en otras provincias, por lo que se plantea su prefabricación, como se observa en los sistemas Simplex, Sandino PF y Bloque-Panel. Entre las soluciones están el cimiento aislado por medio de vasos de hormigón para el alojamiento de las columnas, y el bloque canal utilizado en la zapata de la estructura. Todas estas modificaciones se pueden ejecutar en la Planta de Prefabricado 7 de Camagüey si se adaptan los moldes a las actuales exigencias. En el caso de la carpintería se puede solicitar el suministro de estos elementos a la Empresa de Estructura de Las Tunas Paco Cabrera.

**Carpintería:** La carpintería estaría modificada por tres elementos principales: el marco de ventana prefabricado como se explicó antes, unas variantes de ventanas y nuevas puertas. Se plantean ventanas de tipo Miami metálicas con lucetas de vidrio para mejorar la iluminación natural en los espacios; pueden ser simples con la luceta lateral o dobles con la luceta en la parte superior. Para las puertas estaría previsto utilizar las de tipo tropical que permiten el flujo continuo a través de los locales de la vivienda, lo que permite la ventilación cruzada.

Es decir, con estos cambios se busca mejorar los aspectos de bienestar térmico y de iluminación natural en las viviendas, al reducir el uso de

equipos climatizadores y contribuir de esta forma al rendimiento energético de la vivienda mediante la climatización pasiva.

Columna: Se propone una solución para mejorar la condiciones bioclimáticas en las viviendas. Para ello se considera necesario el diseño de una media columna encargada de sostener un marco prefabricado que alojaría una ventana más amplia que las usadas actualmente, propuesta en este trabajo. Es necesario aclarar que en otros sistemas ya se ha concebido este elemento, solo que en esta propuesta se adapta a las nuevas condiciones. Dicho elemento sería de fácil elaboración en la Planta.

A continuación la figura 2 está orientada a destacar aquellos elementos que debieran ser incorporados a las actuales soluciones con el Sandino en Camagüey. Estos elementos ya han sido planteados y utilizados en otros sistemas, pero en este caso se integran a las nuevas necesidades.



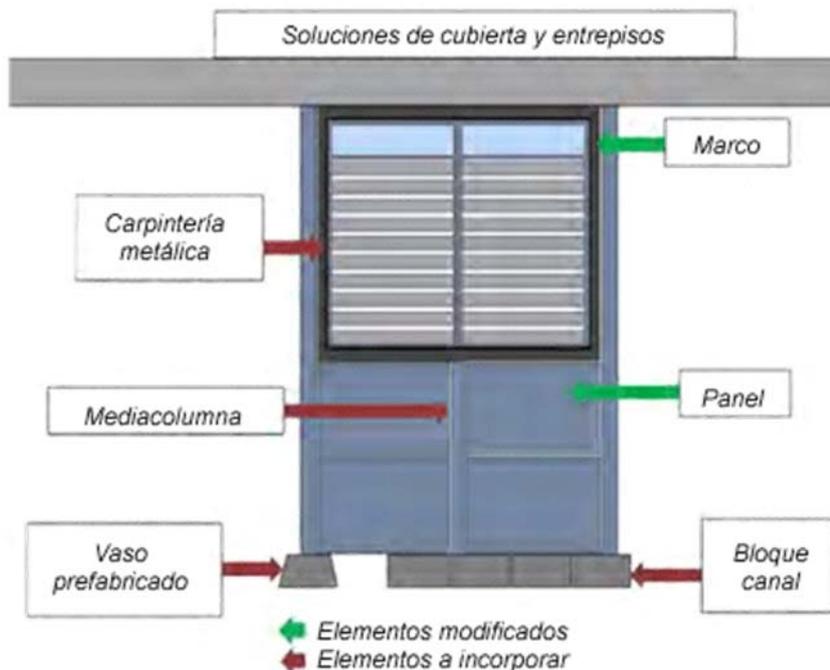
*Fig. 2. Elementos a incorporar a partir de aplicaciones realizadas en otras provincias. Estado actual y propuesta.*

Los resultados arrojaron un ahorro en materiales, sobre todo de cemento, y principalmente si se usa la cimentación prefabricada se disminuiría en obra hasta 50% por cada metro lineal de zapata, al emplear el bloque canal y la cimentación aislada con los vasos de hormigón.

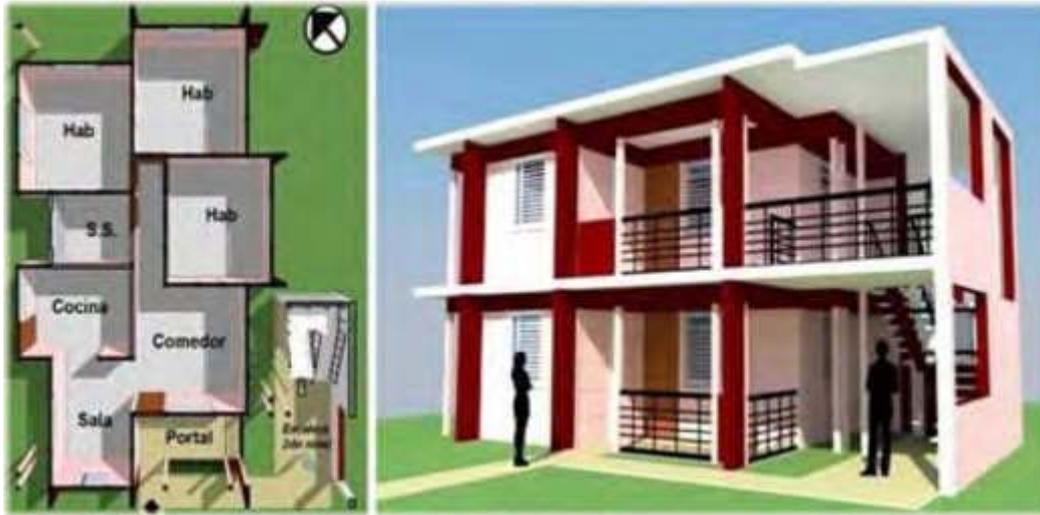
Se mejoraría considerablemente el confort interior térmico mediante el uso de las cubiertas aligeradas y la carpintería con estas nuevas variantes de ventanas como las dobles tipo Miami, que posibilitan disminuir la temperatura en los locales a través de la ventilación natural pasiva, y permiten una mayor entrada de la iluminación.

De igual manera se contribuiría al mejoramiento bioclimático en los locales mediante la modificación del panel Sandino, al aprovechar las propiedades aislantes de la poliespuma, que también posibilitan aligerar el elemento para favorecer aún más su manejo. A pesar de que esto constituiría un encarecimiento de la producción en un inicio, representa un gran avance para disminuir el consumo energético en la vivienda, al limitar el uso de equipos climatizadores. Los paneles también permitieron mejores soluciones espaciales debido a la variedad de modulaciones planteadas. La figura 3 muestra un resumen de los cambios propuestos y las adaptaciones sugeridas [Serrano, 2013].

Con dicho estudio se pudieron generar croquis e ideas conceptuales de variantes arquitectónicas y constructivas que demuestran cuán confortable y atractivo pudiera resultar el Sandino transformado. En la figura 4 se ilustra una de las variantes de biplanta, en este caso de tres dormitorios con una cubierta de pre-losa de poliestireno expandido con vigueta pretensada de hormigón.



*Fig. 3. Esquema general que muestra los elementos a introducir y elementos aplicar de experiencias anteriores.*



*Fig. 4. Variante arquitectónica de biplanta con tres dormitorios, en la que se evidencia la articulación que permitirían las modificaciones al sistema, mayores aberturas de vanos e incorporación de elementos de protección solar y confort ambiental[CTVU, 2006].*

## **Conclusiones**

El sistema prefabricado Sandino en Camagüey presenta actualmente numerosas desventajas dadas por disímiles causas; sin embargo, se ha percibido que una apropiada concepción de elementos componentes del Sistema, un surtido que permita flexibilidad en el diseño y la aplicación de criterios bioclimáticos entre otros procederes, pueden darle un vuelco rotundo a la imagen social y a los impactos negativos que se tienen de este Sistema. Para ello la Planta de Armado del Combinado Fernando Álvarez debe mejorar su capacidad instalada, así como la mentalidad de los implicados en la producción y generación de elementos para asumir las propuestas de modificaciones y adecuaciones que se ofrecen en la investigación. Estos cambios que le otorgan mayor viabilidad al Sistema deben ser apoyados por una campaña promocional que exponga las potencialidades de dicho sistema, y proporcionen una preparación técnica adecuada de la mano de obra, que pudiera ser asumida por esfuerzo propio.

## **Reconocimientos**

Se agradece la colaboración del Centro de Estudio para el Desarrollo de las Estructuras y los Sistemas constructivos CENDES de la Facultad de Construcciones de la Universidad de Camagüey, especialmente a su director, el Dr. Rafael Larrúa Quevedo. Se hace extensivo el reconocimiento al colectivo técnico del Combinado Fernando Álvarez que continúa con

interés su apoyo a las investigaciones en los locales de esta planta de prefabricado, donde además ha resultado en extremo valiosa la información ofrecida por especialistas con experiencia en los ámbitos nacional e internacional.

## Referencias

- CTMC. CENTRO TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (2007). *Manual de instrucciones para el diseño y construcción (2)*. La Habana: [s.n], 2007.
- CTVU. CENTRO TÉCNICO DE LA VIVIENDA Y EL URBANISMO (2006). *Catálogo de tecnologías que reducen la vulnerabilidad de la vivienda ante eventos meteorológicos*. La Habana: [s.n]. 2006.
- PÉREZ, OMARA (2008). «Cubiertas de poliestireno en la rehabilitación de viviendas», en *Memorias del Evento Técnico de Rehabilitación de Viviendas*. Camagüey: 2008.
- RAVENTOS, YUSLEY (2007). «Diagnóstico y propuesta de intervención en las plantas de prefabricados en Camagüey». Trabajo de Diploma en Arquitectura. Universidad de Camagüey, 2007.
- SERRANO, DAYRON (2013). «Propuestas de modificaciones al Sistema Sandino para la producción sustentable de viviendas en Camagüey». Trabajo de Diploma en Arquitectura. Universidad de Camagüey, Cuba, 2013.
- SOTO, NICOLÁS (2012). «Construcción e impacto sobre el medio ambiente: El caso de los materiales de construcción y las construcciones», en *Memorias de la 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura de La Habana*. La Habana: 2012.

## Las microrredes y los riesgos de desastres

### Microgrids and disaster risk

*Por M.Sc. W. Manuel Saltos Arauz\*,  
Dr.C Miguel Castro Fernández\*\* y Dra.C. Miriam Vilaragut Llanes\*\*  
\* Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.  
\*\* Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL),  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Cuba.  
e-mail: wsaltos@utm.edu.ec, mcastro@electrica.cujae.edu.cu*

### Resumen

En el trabajo se enfatiza el rol de las microrredes en caso de riesgos naturales en el Ecuador, mostrando las ventajas que estas le confieren al sistema eléctrico de potencia; además, se expone una síntesis sobre el desarrollo del esquema energético a nivel mundial, y se ofrecen los criterios que desde el punto de vista energético, económico y ambiental justifican la utilización de las microrredes como una forma de elevar la eficacia del servicio eléctrico, fundamentalmente en caso de desastres naturales a los que está expuesta hoy la red eléctrica ecuatoriana, logrando los impactos económico, ambiental y social deseados.

**Palabras clave:** Microrred, riesgos, eficiencia energética, fuentes renovables de energía, red inteligente

### Abstract

The paper argues the role of microgrids in case of natural disasters in Ecuador, showing the advantages they represent to the power grid. In addition, a synthesis is presented on the development of the energy scheme worldwide, and the criteria offered from the energy, economic and environmental point of view justify the use of microgrids as a way to increase the efficiency of the electricity service, fundamentally in case of natural disasters to which the Ecuadorian electrical grid is exposed today, achieving the desired economic, environmental and social impacts.

**Keywords:** Microgrid, risks, energy efficiency, renewable sources of energy, smart grid

### Introducción

El incremento sucesivo del precio de los combustibles fósiles y la apremiante situación derivada de los impactos ambientales asociados al uso extendido de los recursos energéticos que forman parte de la dotación del planeta, han acelerado la irrupción de las fuentes renovables de energía en el panorama energético, cambiando notablemente los flujos de energía

en la red y provocando la adopción de la novedosa filosofía de la generación distribuida, en la que los usuarios no solo consumen, sino que también producen electricidad a través de la misma red, y por tanto, el flujo de energía ya no es solo unidireccional, sino que cobra cada vez más un sentido bidireccional.

Desde que en 1882 el inventor norteamericano Thomas Alva Edison desarrollara e instalara la primera gran central eléctrica del mundo en Nueva York [Zirkelbach, 2014], los procesos de generación, transportación, distribución y comercialización de la electricidad se han regido por el ritmo de la demanda y el incremento exponencial del consumo de la energía eléctrica a escala social. Durante la primera mitad del siglo xx se consagró el uso del petróleo como portador energético por excelencia, y con ello se fue configurando un sistema de generación cada vez más centralizado, basado en grandes termoeléctricas, con extensas redes de transmisión y un complejo sistema de distribución administrado por operadores de red especializados en el mantenimiento del equilibrio entre la oferta y la demanda de energía de forma permanente.

Para la segunda mitad del propio siglo xx, en los países del primer mundo los sistemas centralizados de generación, transporte y distribución de la electricidad se reafirmaron como un paradigma técnico capaces de garantizar y extender el servicio eléctrico interno de los países, y traspasar las fronteras nacionales; pero las sucesivas crisis energéticas y ambientales motivadas por la sobreexplotación de los recursos naturales ha puesto en entredicho la capacidad de la actual matriz energética para continuar sosteniendo las condiciones actuales del desarrollo económico y social de la humanidad.

La consolidación gradual de un nuevo paradigma energético sustentado en los conceptos de la sostenibilidad, y fundamentado en el derecho universal de la humanidad al acceso de los servicios, impone la transición hacia una novedosa y diversa matriz energética, que ya no podrá ser administrada eficazmente mediante los métodos tradicionales de operación de la red.

La integración dinámica de los desarrollos en la ingeniería eléctrica, y los avances de las tecnologías de la información y las comunicaciones dentro del espectro de la energía eléctrica, requieren que las áreas de coordinación de protecciones, control, instrumentación, medida, calidad y administración de energía, sean concatenadas en un solo sistema de gestión, con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía.

Las microrredes pueden conectarse con la red de alimentación principal y en muchos casos, donde exista algún tipo de riesgo, pueden funcionar de

forma autónoma si se aíslan de la red; esto les confiere una importancia fundamental en las zonas bajas de inundación en los periodos lluviosos. En ese sentido juegan un papel importante en la satisfacción de la demanda a la población cuando el sistema central esté desconectado. Ello constituye un ejemplo del uso de la microrred y su importante papel en la robustez de las redes eléctricas frente a las perturbaciones, aumentando su resiliencia.

El caso más notable sucedió durante el terremoto y posterior tsunami en Japón en 2011, en la región de Tohoku, donde la microrred de la Tohoku Fukushi University de 1 MW operó durante dos días en modo aislado luego del evento sísmico, mientras toda la región en derredor quedó sin servicio eléctrico. La microrred localizada se mantuvo operativa con alto nivel de desempeño supliendo a las cargas [Suryanarayanan, et al., 2010]. Estas tecnologías se están gestando en todo el mundo, por cuanto son imprescindibles por su fiabilidad en caso de situaciones extremas.

La red eléctrica es ahora uno de los centros de innovación tecnológica, influida por factores económicos, políticos y geográficos; para su incorporación a la empresa pueden aplicarse diferentes tecnologías como son: Sistema de Información Geográfico (GIS), Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), Sistema de Gestión de Cortes (OMS), Sistema de Adquisición, Supervisión y Control de Datos (SCADA), Sistemas de Gestión de Demanda (DMS) y Automatización de Distribución (DA) [Zapata, 2013], entre otras.

Para el enfoque geográfico en las microrredes se pueden utilizar los SIG, capaces de aportar inteligencia artificial a la solución de los problemas y conflictos de la red, sirviendo como base para su aplicación como plataforma de decisiones, captura de datos, medidores inteligentes, análisis de comportamiento del consumidor, estructura informática de información en un contexto geográfico [Redes..., 2013]. Estas pueden ser usadas, además, en las empresas de servicios públicos; en la gestión de datos y activos; gestión operativa; órdenes de trabajo; y para brindarle la información del cliente, permitiendo conocer el emplazamiento óptimo de los sistemas de medición, la incorporación de energías renovables y la eficiencia energética, siendo una herramienta viable para el cumplimiento de la funcionalidad en la implementación, planificación, automatización y análisis, asegurando la percepción objetiva de la situación del sistema y los proyectos a niveles espaciales.

El objetivo del trabajo de investigación se enfoca en justificar las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales, para la introducción de las microrredes en el sistema eléctrico ecuatoriano, de forma tal que robustezcan el sistema eléctrico de potencia en los territorios

donde exista vulnerabilidad en caso de fenómenos naturales que afecten el buen funcionamiento de la red.

## **Materiales y métodos**

Para desarrollar el trabajo se realizaron diferentes revisiones bibliográficas encaminadas a mostrar el potencial técnico, económico y científico con que cuenta el Ecuador para la introducción de la infraestructura de las microrredes en el desarrollo energético del país, además de considerar las amenazas de inundación y de sequía que pueden afectar la fiabilidad del sistema eléctrico.

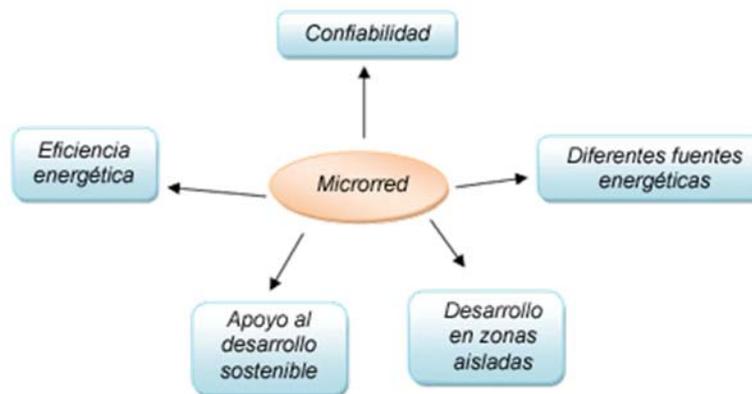
Se revisaron documentos nacionales e internacionales relacionados con la temática y se efectuó un análisis de la estructura actual del sistema eléctrico y su posible crecimiento en el futuro con la penetración progresiva de las tecnologías renovables, fundamentalmente la hidráulica y los sistemas fotovoltaicos conectados a red próximos a la carga; partiendo todo ello del principio de que la clave del futuro son las microrredes, sistemas pequeños y autónomos con una combinación de tecnologías renovables y convencionales adaptadas a cada caso en particular, que permitan a individuos, comunidades y empresas generar su propia electricidad, así como vender los excedentes a la red principal [IDEA, 2014].

Se utilizó el método análisis-síntesis en el estudio del material bibliográfico disponible. El método histórico-lógico permitió llegar a consideraciones precisas relativas a la lógica del desarrollo del esquema energético internacional, desde su evolución en siglos anteriores. El método de inducción y deducción fue utilizado para develar la existencia del contenido de nuestro objeto de estudio, y propiciar la obtención de conclusiones propias, permitiendo con ello ir deduciendo las esencias, las causas y los por qué de las fundamentaciones y propuestas formuladas.

## **Análisis y discusión de los resultados**

Las microrredes se pueden definir como una forma de gestión eficiente de la electricidad, en la que se utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad, con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores, aportando elementos que la privilegian con respecto a los sistemas centralizados. En la figura 1 se muestra un esquema de algunos elementos de las microrredes que las hacen adecuadas en caso de riesgos del sistema eléctrico; como se puede observar, ofrecen confiabilidad al sistema eléctrico, mejoran la eficiencia energética y pueden integrarse diferentes fuentes de generación en las que las fuentes renovables de energía se incorporan a partir de los estudios de sus potenciales aumentando su

confiabilidad; además, pueden establecerse en zonas aisladas, lo cual hace que favorezcan el desarrollo local. Cada uno de estos aportes puede interrelacionarse.



*Fig. 1. Aportes de las microrredes en caso de riesgos.*

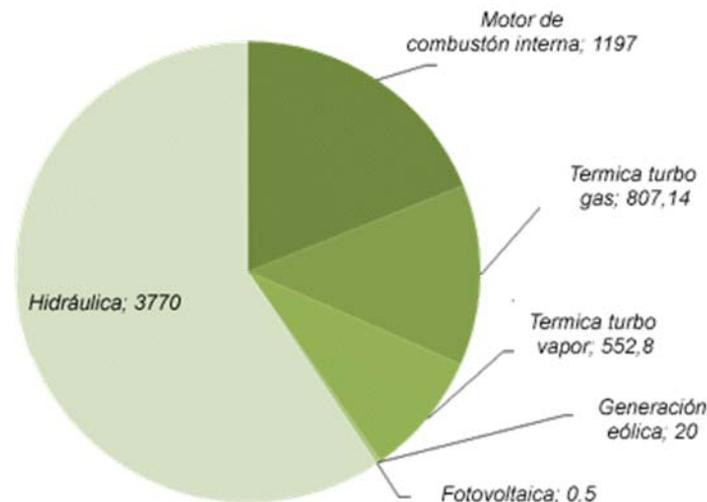
Una de las principales características de las microrredes, es que se comportan como pequeños centros de generación distribuida. Este concepto agrupa la generación de electricidad mediante instalaciones pequeñas (3 kW-10 MW) en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico; además, presentan diferentes ventajas en la fiabilidad en lugares donde es inestable el sistema eléctrico. A partir de los estudios de potenciales renovables se pueden seleccionar los mejores sitios para la implantación de la tecnología, el suministro eléctrico es de alta fiabilidad, disminuyen las pérdidas en la transmisión y distribución, y además presentan beneficios medioambientales mediante tecnologías que no emiten gases contaminantes, como son la eólica, hidráulica y fotovoltaica.

Como un elemento adicional se puede agregar que en el Ecuador el sistema de líneas y redes eléctricas se encuentra digitalizado, constituyendo un elemento técnico de partida para facilitar la introducción de las microrredes.

Una microrred es capaz de suministrar electricidad desde los proveedores a los consumidores, ayudando a ahorrar energía, reducir costes, incrementar la usabilidad y transparencia de la gestión, propiciando el uso de la energía de manera eficiente y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y con ello disminuir los efectos del cambio climático. Por todo ello son ya un hecho real para los sitios donde se reúnan las condiciones para su establecimiento.

Las Tecnologías de Informática y las Comunicaciones (TIC) han estado revolucionando los procesos industriales y tecnológicos. Su introducción constituye un hito en las nuevas perspectivas de la gestión y desarrollo de los servicios en las redes de distribución de electricidad, para el aprovechamiento al máximo de la energía que se genera por diferentes fuentes.

Las tecnologías asociadas a las microrredes se introducen en el mercado dependiendo de las características de cada país. En el Ecuador existen en la actualidad diferentes fuentes de generación; en la figura 2 se pueden observar los tipos de fuentes interconectados en el Sistema Eléctrico Nacional, pudiendo notarse que la energía hidráulica es una de las que más aporta, y existe un programa para instalar en el 2016 aproximadamente 6 780 MW [Licuy, 2011]; la fotovoltaica y eólica pueden representar un paso de avance si se introducen en zonas vulnerables de riesgos, ayudando con ello a fortalecer el sistema eléctrico.



*Fig. 2. Potencia instalada en el Ecuador.  
Fuente: Elaboración propia.*

Paralelamente al programa de desarrollo sobre el aprovechamiento de la energía hidráulica, se prevé sustituir gradualmente la cocción doméstica de alimentos, que hoy se realiza en base a gas, con la introducción de cocinas de inducción más eficientes, higiénicas y menos riesgosas, posibilitando una disponibilidad adicional de gas que se utilizará para la generación eléctrica mediante procesos eficientes y menos costosos.

La generación distribuida incorpora conceptos de interés para los usuarios, al generarse la energía próxima a los centros de carga. Las fuentes

renovables de energía se incorporan como elementos del sistema distribuidos en el territorio, siendo partícipes de las diferentes formas de generación.

Las microrredes pueden modular la inserción de las fuentes renovables de energía en el sistema eléctrico de potencia, teniendo un mayor empleo de la automatización como un nuevo producto del sistema, incluyendo la lectura automática de medidores de electricidad, ampliando la accesibilidad para integrar y conectar diferentes tecnologías de generación.

Para países como Ecuador, que actualmente se encuentran enfrascados en programas de desarrollo social, en los que la energía tiene una marcada prioridad en los planes de inserción e incorporación de nuevas hidroeléctricas, y cambios significativos en la matriz energética, desde la generación hasta el consumo de la energía, todo ello supone un cambio revolucionario en el que la generación distribuida adquiere una mayor participación con el usuario, logrando un mayor empleo en la automatización y distribución de la información, al igual que en el control del consumo.

Como parte de la planificación e innovación que realiza el gobierno de Ecuador en el sector eléctrico, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, con el apoyo de otros actores de este sector, presentaron el Programa de Redes Inteligentes Ecuador, que busca incorporar un nuevo modelo de gestión del sistema eléctrico sustentado en tecnologías avanzadas de medición, monitoreo y comunicación, que involucre desde la generación hasta el consumo de la energía eléctrica [MEE, 2013].

Este programa busca, entre sus objetivos, optimizar la forma de planificar y operar los sistemas eléctricos, mejorar la calidad de servicio, ofrecer respuestas oportunas cuando ocurran interrupciones provocadas por fenómenos naturales, como las inundaciones, y en los casos de sequía cuando el sistema eléctrico presenta inestabilidad al disminuir la generación por hidroeléctricas, puedan ser sustituidas por otras fuentes.

Con las microrredes se podrá obtener un registro en tiempo real de todo lo que sucede en los elementos del sistema energético por donde circula la electricidad, desde las fuentes de generación hasta los clientes finales, lo cual también forma parte del proceso de eficiencia energética.

El Ecuador es pionero en la región en la instrumentación de redes inteligentes, pues están en marcha varias iniciativas, entre las más importantes: el cambio y la diversificación de la matriz energética a través del desarrollo de las energías renovables (ocho proyectos hidroeléctricos, uno eólico, varios fotovoltaicos y de biomasa), nueva infraestructura de transmisión en 500 000 V, modernización e incorporación de tecnologías de

punta para la gestión de la red, la distribución y el suministro de la electricidad.

El objetivo fundamental de la nueva infraestructura eléctrica inteligente es reducir las pérdidas y llegar a la eficiencia energética aprovechando las redes de generación y distribución del servicio que hoy disponen [Albornoz, 2014]; con ello, aprovechar al máximo la infraestructura con que se cuenta, además de mejoras que van a permitir la incorporación de forma paralela de las redes de comunicaciones en la infraestructura energética del país.

Paralelamente será necesario asumir un marco regulatorio que propicie el ordenamiento de las relaciones sociales derivadas del nuevo esquema energético y su control, viabilizando el cumplimiento de la voluntad política desplegada en función de reducir el consumo de los combustibles fósiles y lograr una adecuada gestión ambiental derivada de la función energética.

### **Conclusiones**

1. Las microrredes le brindan mayor confiabilidad al sistema eléctrico en caso de riesgos naturales, pudiendo trabajar en forma de isla ofreciendo robustez al sistema y brindando un servicio estable a los usuarios del sistema.
2. En el Ecuador se desarrollan importantes transformaciones encaminadas a la transformación de la matriz energética, que incluyen los procesos de generación, transportación, distribución, suministro y consumo de la energía, asumiendo gradualmente la introducción de los conceptos asociados al modo de la generación distribuida, de forma tal que puede resultar muy complicado el mantenimiento del tradicional esquema de operación de la red, por lo que resulta necesario asumir el esquema de las microrredes de forma tal que se asegure la eficiencia del sistema eléctrico en las nuevas condiciones.

### **Bibliografía**

ALBORNOZ, E. (2014). «Nueva infraestructura eléctrica inteligente reducirá las pérdidas», en *El Telégrafo*, Ecuador. Consultado: 2014.

IDEA (2014). «Guía de redes inteligentes de energía y comunicación». Fundación de la Energía, Comunidad de Madrid. Consultado: feb., 2014. Disponible en: [www.madrid.org](http://www.madrid.org).

LICUY, A. P. (2011). «Estudio del potencial solar incidente en el Ecuador, para su empleo en diversas aplicaciones energéticas», en *Renia*, Cujae, 2011. ISBN: 2307-471X.

MEE (2013). «Programa de redes inteligentes en Ecuador». Disponible en: [www.ministeriodeelectricidadyenergia.ec](http://www.ministeriodeelectricidadyenergia.ec), 2013.

«Redes inteligentes» (2013), en *CIER, I Seminario*. Consultado: feb. 2014. Disponible en: [www.bocier.org.bo](http://www.bocier.org.bo).

SURYANARAYANAN, S.; J. MITRA Y N. AMERICA (2010). «Framework for Energy Management in Customer-Driven Microgrids», en *Power and Energy Society General Meeting IEEE*, (10-13): 2010.

ZAPATA, N. A. (2013). «Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de redes eléctricas inteligentes en Colombia». Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Sistemas, Medellín, 2013.

ZIRKELBACH, D. B. (2014). «Microgrids Help More Than They Hurt», en *IEEE Electrification Magazine*, 2014.

## **Viviendas económicas de ferrocemento**

### **Ferrocement efficiency homes**

*Por Arq. Arcenio Ignacio Salgado Durañona\**

*\* Arquitecto. Especialista de Proyectos e Ingeniería  
en la Empresa de Diseño e Ingeniería, Las Tunas, Cuba.  
e-mail: arcenio@crever.cu*

### **Resumen**

El proyecto consiste en el diseño de bloques de viviendas que formarán parte de una urbanización concebida para un reparto del municipio San Miguel del Padrón en La Habana. Cada bloque se desarrolla en dos niveles y está diseñado para albergar cuatro casas, compuestas por sala, comedor, cocina, baño, patio de servicio, habitaciones y las áreas para la circulación interior. No se incluyen portal ni balcones debido a que se solicitó que su construcción no tuviera un elevado costo, concebidas como viviendas económicas destinadas a familias afectadas por desastres naturales. La solución estructural emplea como sistema constructivo predominante el SERF (Sistema de Edificios Residenciales de Ferrocemento) para la conformación del inmueble con paneles de ferrocemento en paredes y cubierta. Todos los muros estarán conformados por paneles de ferrocemento, empleándose solamente muros de ladrillos en las paredes de los tanques elevados, las mesetas y los mojinetes de cierre o culatas. Para el entrepiso y la cubierta también se emplearán paneles diseñados para ese fin, los cuales podrán ser colocados de diferentes maneras según sea necesario para la estructura, la impermeabilización o la expresión formal. Todos estos elementos tendrán anchos determinados y sus longitudes podrán ser variables, mientras que la cimentación y los cerramientos serán de hormigón armado fundido in situ.

**Palabras clave:** Ferrocemento, viviendas económicas, SERF

### **Abstract**

The project entails the design of blocks of houses that will be part of an urbanization conceived for a community in San Miguel del Padrón municipality, in Havana. Each block is developed on two levels and four houses with a living room, dining room, kitchen, bathroom, service patio, rooms and areas for internal circulation. Due to the low cost of the project, planned as affordable housing for families affected by natural disasters, no portal or balconies were included in the design. The structural solution uses as a predominant constructive system the SERF (Residential Ferrocement Building System) for the conformation of the building with ferrocement

panels on walls and roof. All the walls will be made up of ferrocement panels, using only brick walls in the walls of the elevated tanks, the plateaus and the closing mojinetes or cylinder heads. Panels designed for that purpose will also be used for the mezzanine and the roof, which can be placed in different ways as necessary for the structure, waterproofing or formal expression. All these elements will have determined widths and their lengths will be variable, while the foundations and the enclosures will be reinforced concrete cast in situ.

**Keywords:** Ferrocemento, affordable housing, SERF

## Introducción

Dentro de la búsqueda de soluciones al problema habitacional es necesario desarrollar sistemas de vivienda alternativos, económicos, sostenibles y con materiales no convencionales [García-Siñeriz, 2010]. El presente trabajo desarrolla la proyección en Cuba de una solución alternativa para la construcción.

Debido a las afectaciones que han recibido diversas familias cubanas por eventos meteorológicos de gran magnitud, se han buscado soluciones para la construcción de hogares que combinen un bajo costo y rapidez en su ejecución. El presente trabajo es un proyecto que consiste en el diseño de bloques de viviendas que formarán parte de una urbanización concebida para un reparto del municipio San Miguel del Padrón en La Habana. Cada bloque se desarrolla en dos niveles y está diseñado para albergar cuatro viviendas, compuestas por sala, comedor, cocina, baño, patio de servicio, habitaciones y las áreas para la circulación interior. No se incluyen portal ni balcones debido a que se solicitó que su construcción no tuviera un costo elevado, concebidas como viviendas económicas destinadas a familias afectadas por desastres naturales. La ventaja económica de las estructuras de ferrocemento es grande. Las casas necesitan poco o mínimo mantenimiento y son muy seguras y sismorresistentes [Cementos..., 2014].

Las edificaciones están estructuradas de forma simétrica con la escalera al centro y las viviendas a los lados en ambos niveles. Fueron proyectadas 3 tipologías de viviendas: con un dormitorio doble (D), con dormitorio doble y dormitorio sencillo (Dd) y con un dormitorio doble y dos sencillos (D2d). Todos los muros de los inmuebles serán construidos mediante el uso de paneles prefabricados de ferrocemento. Para el entrepiso y la cubierta también se emplearán paneles de ferrocemento diseñados para ese fin, los cuales podrán ser colocados de diferentes maneras según sea necesario para la estructura, la impermeabilización o la expresión formal. Las cubiertas sobre las casas serán a dos aguas, mientras que en una parte,

sobre el área de la escalera, se colocará una losa en posición horizontal sobre la cual serán colocados los tanques elevados para el abasto de agua.

### **Sistema de edificios residenciales de ferrocemento**

La solución estructural de las viviendas proyectadas emplea como sistema constructivo predominante el SERF (Sistema de Edificios Residenciales de Ferrocemento) para la conformación del inmueble con paneles de ferrocemento en paredes y cubierta. El SERF es un sistema basado en un pequeño número de elementos prefabricados, con ellos se conforman los espacios seleccionados y como un sencillo juego de armar se construyen cimientos, paredes, entresijos, vigas y cubiertas [Wainshtok, s/a]. Se conoce como ferrocemento al término que se utiliza para definir un tipo particular de hormigón armado, que está formado por una matriz de mortero de arena y cemento hidráulico, reforzada con una armadura altamente subdividida y distribuida en la masa de mortero, lo que le da una alta resistencia, compacidad y elasticidad al conjunto [Wainshtok, s/a].

El ferrocemento es un material de construcción compuesto, de poco espesor, flexible, en la que un gran número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento, lográndose un comportamiento notablemente mejorado en comparación con el hormigón armado, cuya resistencia está dada por las formas de las piezas [Cementos..., 2014]. Sus propiedades lo tornan sumamente atractivo sobre todo para naciones en vías de desarrollo; rescatarlo y hasta mejorarlo beneficiará a millones de personas en diversas latitudes [Bustamante, 2014]. Representa ahorro de materiales y da la posibilidad de múltiples usos debido a su alta resistencia y elasticidad, características ideales para colocarlo en lugar preferencial en la construcción de disímiles obras como se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1. Principales características del ferrocemento como material para la construcción de viviendas*

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Propiedades especiales	Paneles y elementos muy rígidos con un bajo consumo material
Costos	Medios
Resistencia estructural	De buena a muy buena

Equipamiento requerido	Herramientas convencionales de construcción
Resistencia a terremotos	Buena
Resistencia a huracanes	Muy buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Muy buena
Adecuación ambiental	Deficiente aislamiento térmico y acústico
Estado de desarrollo	Tecnología relativamente desarrollada en estado de apropiación en diversas variantes y países

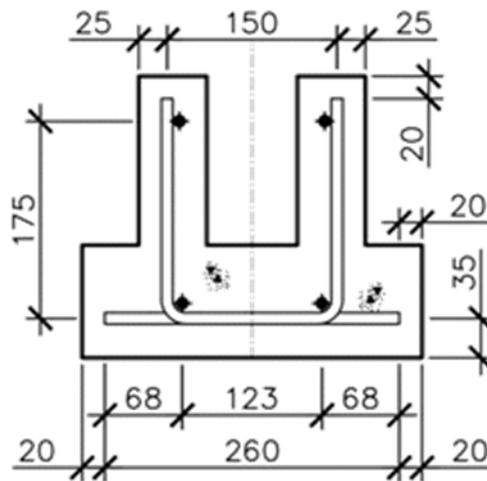
Las investigaciones sobre el ferrocemento y su empleo durante años en muchos países, confirman cuánto de economía, seguridad y durabilidad alcanzan las construcciones si se ejecutan con la calidad requerida [Bustamante, 2014]. Este material, laminar por excelencia, permite desarrollar edificaciones y elementos in situ y prefabricados, de forma regular e irregular. Puede utilizarse para elementos de cierre o división y para elementos portantes [González, 2010].

Esta tecnología se originó en los años 80 cuando un grupo de profesionales buscaba reducir los costos de construcción y proveer tecnologías eficientes de una forma descentralizada. Guiados por Hugo Wainshtok, se inició este uso nuevo del ferrocemento [*Paneles...*, 2010]. Su uso en elementos prefabricados para la construcción de viviendas aporta varias ventajas al proceso constructivo como la facilidad para modificar sus dimensiones con solo hacer pequeñas modificaciones en los moldes; la posibilidad de ser utilizado tanto en muros como en otros elementos de la edificación. Puede ser colocado en distintas posiciones, siendo empleados en entrepisos y cubiertas con la adición de un pequeño refuerzo [Wainshtok, s/a].

### **Cimentación**

La cimentación se realiza de modo tradicional con una viga zapata de hormigón armado fundido in situ como se indica en la figura 1. Fue proyectada tomando como referencia un método de construcción mediante el cual la viga zapata es fundida en dos etapas como se observa en las

figuras 2 y 3: primeramente la parte inferior dejando aceros salientes, entre los cuales se montan los paneles prefabricados de las paredes; luego la fundición de la cimentación es completada, quedando la parte inferior de los muros embebida en el hormigón.



*Fig. 1. Sección de viga zapata.*



*Fig. 2. Fundición inicial.*



*Fig. 3. Fundición final.*

### **Muros y acabado**

Todos los muros estarán conformados por paneles de ferrocemento, empleándose solamente muros de ladrillos en las paredes que contendrán los tanques elevados, las mesetas y los mojinetes de cierre. En algunos casos también se han empleado variantes de soluciones con muros de albañilería en las paredes de núcleos húmedos de las viviendas, lo cual permite la colocación de las instalaciones hidráulicas sin que queden

expuestas. Para solucionar lo antes mencionado en este proyecto para viviendas económicas, se explota la posibilidad de colocar las tuberías entre los nervios que poseen estos elementos prefabricados. Posteriormente esos espacios se pueden rellenar con ladrillos y mortero para darle la terminación al muro.

Los paneles prefabricados para pared serán de 200, 300 y 400 mm de ancho, con un espesor de 80 mm en sus partes más anchas y 30 mm en su sección más estrecha. La longitud de los mismos podrá ser variable según su ubicación, en caso de que sean colocados bajo cerramiento o bajo ventana y en dependencia de las alturas de los elementos que se haya definido en el proyecto. En los gráficos del proyecto y de la presente ponencia le fue asignado un color a cada elemento según su ancho: naranja para los de 400 mm (Fig. 4), verde para los de 300 mm (Fig. 5), y azul para los de 200 mm (Fig. 6).

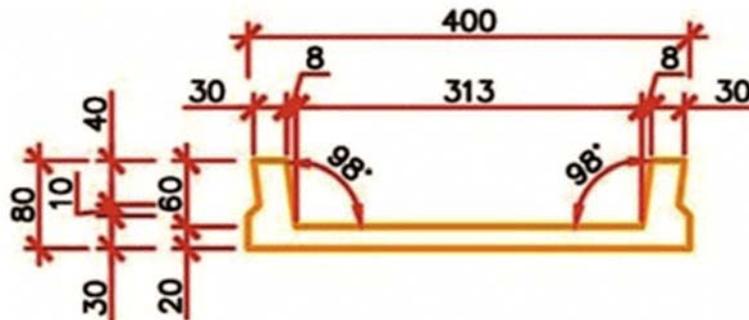


Fig. 4. Sección del panel de 400 mm para la conformación de los muros.

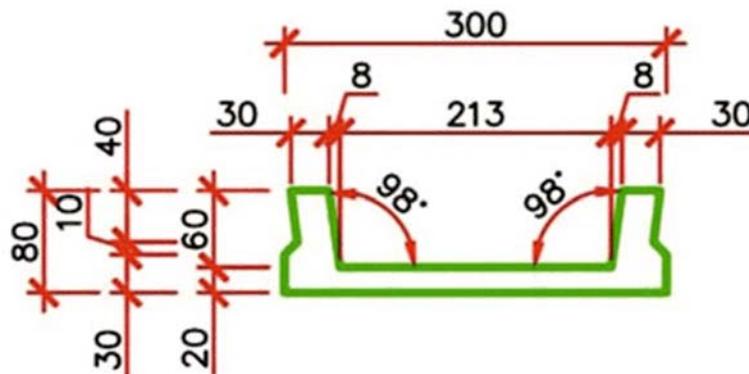


Fig. 5. Sección del panel de 300 mm para la conformación de los muros.

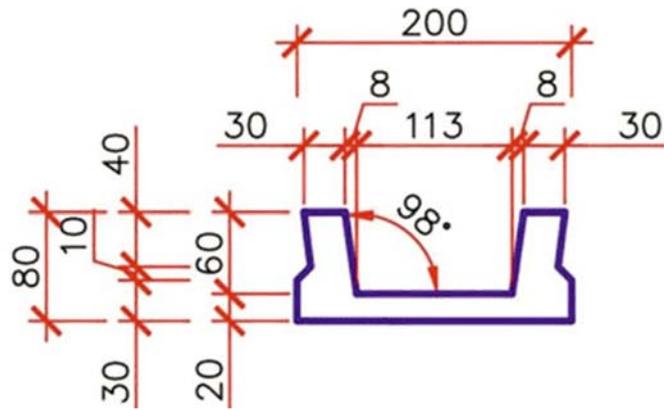


Fig. 6. Sección del panel de 200 mm para la conformación de los muros.

Para el diseño de las edificaciones en planta se van uniendo los elementos y «con ellos se conforman los espacios seleccionados como un sencillo juego de armar» [Wainshtok, s/a], como se indica en la figura 7. Los mismos son colocados según las dimensiones y características de los muros a conformar; en el proyecto de los bloques de viviendas algunos han sido colocados con los nervios hacia afuera, y otros con los nervios hacia el interior de los locales, ajustándose a la expresión formal del inmueble o a las necesidades de ubicar mesetas, aparatos sanitarios, zócalos, instalaciones hidráulicas e instalaciones eléctricas.

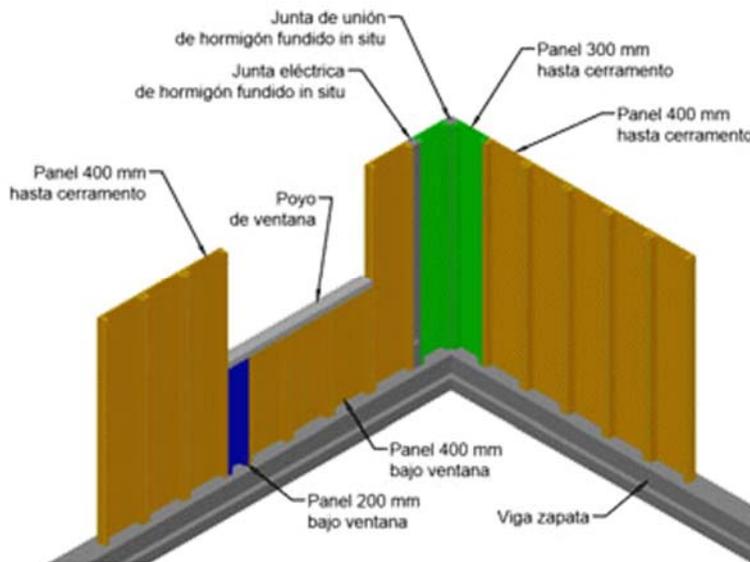
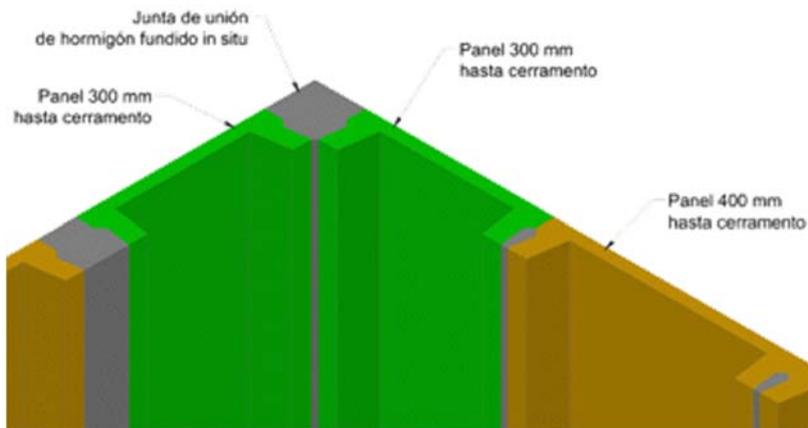
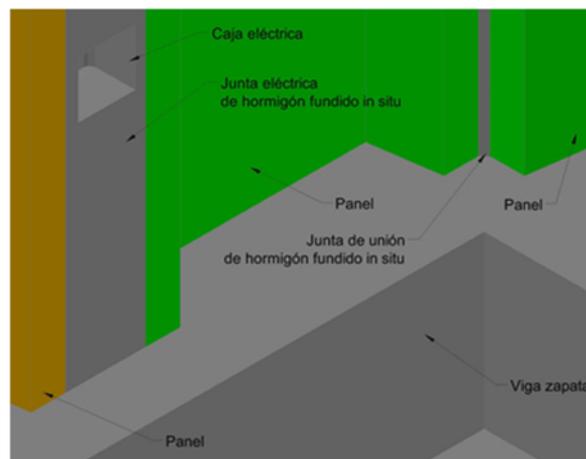


Fig. 7. Ejemplo de montaje de elementos prefabricados de los muros.



*Fig. 8. Detalle de la unión en las esquinas.*

Las uniones en los ángulos de los muros de las edificaciones se refuerzan mediante una junta de hormigón armado en posición vertical en toda la longitud de los paneles, como se muestra en la figura 8. En el caso de las instalaciones eléctricas fue incorporada la solución de una junta de hormigón fundido in situ en posición vertical para la colocación de las tuberías con el cableado y las cajas para tomacorrientes o interruptores, como se indica en la figura 9. También se ubican dichas instalaciones bajo el piso y a través de la viga cerramiento de hormigón armado. Las cajas para la ubicación de las luminarias también estarán ubicadas en el cerramiento. Asimismo, en ese sistema constructivo se puede emplear como otra variante la fundición de una junta de hormigón ubicada entre los paneles de la cubierta y el entrepiso. En este proyecto fue desechada esa posibilidad para evitar demasiadas juntas, especialmente en la cubierta; con el objetivo de evitar filtraciones y a la vez lograr mayor facilidad y ahorro de tiempo durante su montaje.



*Fig. 9. Detalle de la junta de hormigón entre paneles para la colocación de instalaciones y cajas eléctricas.*

La viga de cerramiento será de hormigón armado fundido in situ, sobre la cual se apoyarán directamente los paneles prefabricados del entrepiso. En el segundo nivel se ubicará una viga de hormigón en el eje central de cada cubierta donde estarán apoyados al centro todos los paneles, la cual estará a mayor altura para lograr la pendiente diseñada.

Las culatas triangulares podrán ser construidas de forma tradicional, utilizando ladrillos o bloques de hormigón. También se pueden colocar paneles de ferrocemento de diferentes longitudes, cada uno con un extremo seccionado en determinado ángulo de forma que se logre la continuidad del triángulo según la pendiente de la cubierta.

Para la colocación de la carpintería de zinc galvanizado serán conformados los vanos, ubicando bajo los mismos paneles de ferrocemento de menor longitud según el tipo de ventana y sus dimensiones. Sobre ellos será montado un elemento (poyo de ventana) prefabricado que podrá ser de ferrocemento u hormigón, encima del cual será colocado el marco de la ventana. La parte superior de cada vano estará rematada con la viga de cerramiento. La longitud de los paneles bajo ventana estará determinada por la diferencia de altura entre su montaje dentro de la viga zapata y la parte inferior del apoyo de la ventana, el cual tendrá 50 mm de alto.

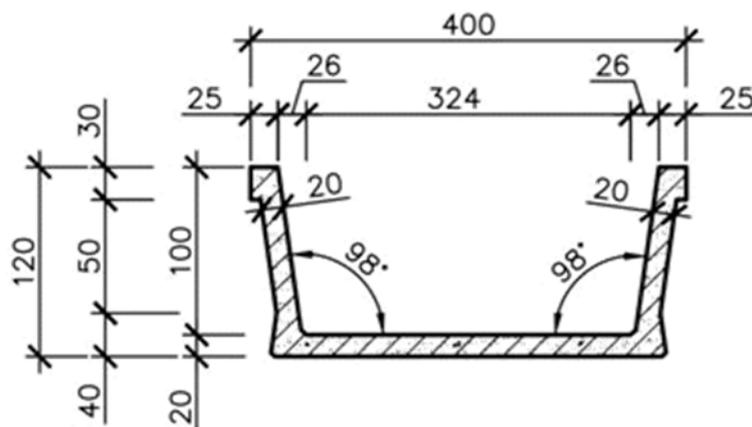
Serán colocadas ventanas tipo Miami de 1 200 mm de altura por 1 400 mm de largo en la sala, el comedor y las habitaciones, con su borde inferior ubicado a 900 mm sobre el nivel de piso terminado. Los paneles bajo las mismas tendrán 1 000 mm de longitud. En la cocina las ventanas serán de 600 mm de altura por 1 400 mm de largo y estarán a 1 500 mm sobre el nivel del piso. A esa misma altura serán colocadas las ventanas de cada baño, que tendrán 600 mm de altura por 700 mm de largo. Los paneles bajo estas últimas tendrán 1 600 mm de largo. Las terminaciones para estas viviendas no son lujosas, obedeciendo al concepto de minimizar costos de construcción. Estas fueron proyectadas con piso de cemento pulido en casi la totalidad de su área exceptuando los baños, dentro de los cuales será colocado un piso de losetas hidráulicas. Aun así en este sistema constructivo pueden ser utilizados otros tipos de pisos. Para los muros, debido a estar conformados por paneles prefabricados de ferrocemento, no es necesaria la aplicación de revestimientos. Estos serán pintados con pintura de vinyl, empleando colores claros en el interior. Se colocará un revestimiento cerámico o un enlucido en la pared posterior y lateral a la meseta de cocina, y en los baños.

### **Entrepiso y cubiertas**

Las soluciones de entrepiso y cubierta se proponen mayormente mediante el empleo de los paneles del sistema SERF como se muestra en la figura

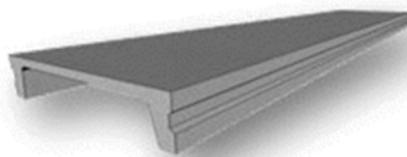
11, los cuales estarán diseñados para ese fin y podrán ser colocados de diferentes maneras según sea necesario para la estructura, la impermeabilización o la expresión formal.

El entrepiso será construido mediante el montaje de paneles prefabricados de ferrocemento de 400 mm de ancho. Estos serán nervados al igual que los utilizados en los muros y sus longitudes serán variadas según su ubicación en la edificación. En el sistema constructivo SERF se han empleado paneles de 100-120 mm de peralte para la cubierta y 120-150 para el entrepiso, en dependencia de la altura, luz a cubrir y carga de diseño. Para este proyecto de viviendas fue sugerida la solución de los elementos de 120 mm para ambos casos como se muestra en la figura 10, logrando que su producción sea más homogénea.

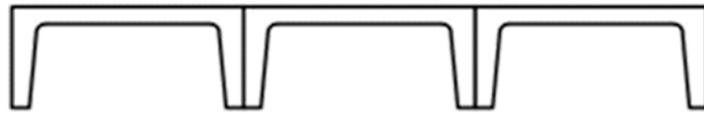


*Fig. 10. Sección de panel de entrepiso y cubierta.*

Los paneles de entrepiso son colocados con los nervios hacia abajo, tal y como se muestra en la figura 12, para lograr una superficie regular en la parte superior y minimizar las cargas del relleno de piso. Las aberturas resultantes al apoyarlos sobre la viga cerramiento serán rellenas con ladrillos y mortero, quedando los elementos de ferrocemento más cohesionados a los muros, evitando el paso de la lluvia u otros elementos externos.



*Fig. 11. Vista de un panel de entrepiso o cubierta.*



*Fig. 12. Forma de montaje de paneles de entrepiso.*



*Fig. 13. Forma de montaje de paneles de cubierta.*

En el área de los baños fue proyectada la fundición de una losa deprimida de hormigón armado fundido in situ sustituyendo los elementos prefabricados. La losa estará ubicada a un nivel más bajo, para lo cual será fundida de forma integral con la viga cerramiento de esa parte de la edificación, quedando de ese modo a 120 mm por debajo del nivel del entrepiso, o sea, alineada su parte superior con la parte inferior de los paneles prefabricados. Fue diseñada de ese modo con el objetivo de ubicar las instalaciones sanitarias en el espacio resultante de esa diferencia, de acuerdo a las pendientes necesarias para la evacuación de los desechos. Así se logra que no exista un escalón del nivel de piso del baño con respecto al resto de la vivienda, lo cual contribuye a aumentar su confort eliminando esa barrera. Se mejora además la impermeabilización de esa área húmeda, ya que la no colocación de paneles en esa parte del entrepiso representa la eliminación de las posibles juntas y por ende las filtraciones.

La cubierta será casi en su totalidad de paneles prefabricados de ferrocemento iguales a los que se utilizarán en el entrepiso, los cuales se colocarán engargolados. Esa forma de colocación y el diseño de una pendiente entre 27 y 30% para todas las edificaciones constituyen un elemento importante lograr una mejor impermeabilización, evitando las filtraciones que ocurren a través de las juntas entre elementos prefabricados. También fue proyectada la cubierta de ese modo para lograr una mejor expresión formal de las edificaciones. Se propone además que sea impermeabilizada con algún tipo de pintura o membranas para impedir totalmente el paso del agua. Su parte superior deberá ser rematada con una junta de hormigón igualmente impermeabilizada.

Al centro de la edificación sobre la escalera, la cubierta está proyectada en posición horizontal con el objetivo de ser utilizada para apoyar sobre ella la estructura que soportará los tanques elevados destinados al abasto de agua de las viviendas. También tiene la función de recoger y evacuar parte de las aguas pluviales que caen de las cubiertas a dos aguas. En el aspecto estético de la edificación este diseño también juega su papel, pues jerarquiza el acceso principal. De igual modo lo hace la estructura soportante de los tanques, la que sirve para enmascarar los recipientes de agua y eleva la altura del inmueble en su centro.

### Viviendas propuestas

El proyecto propone 3 tipologías de viviendas: para una habitación cada una, con dormitorio doble (D); para dos habitaciones cada una con dormitorio doble y dormitorio sencillo (Dd) y para tres habitaciones cada una con un dormitorio doble y dos sencillos (D2d). Las viviendas D tendrán un área útil de 37,33 m<sup>2</sup> cada una y estarán compuestas por sala, habitación, baño, cocina comedor y patio de servicio. Su planta y elevaciones se muestran en las figuras 14 y 15. Las viviendas Dd, representadas en las figuras 16 y 17; tendrán un área útil de 43,59 m<sup>2</sup> cada una y estarán integradas por sala, 2 habitaciones, baño, cocina comedor y patio de servicio. Mientras que las viviendas D2d tendrán un área útil de 55,17 m<sup>2</sup> cada una y estarán integradas por sala, 3 habitaciones, baño, cocina comedor y patio de servicio, estas últimas representadas en las figuras 18 y 19.



*Fig. 14. Planta del bloque de cuatro viviendas económicas de una habitación cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.*

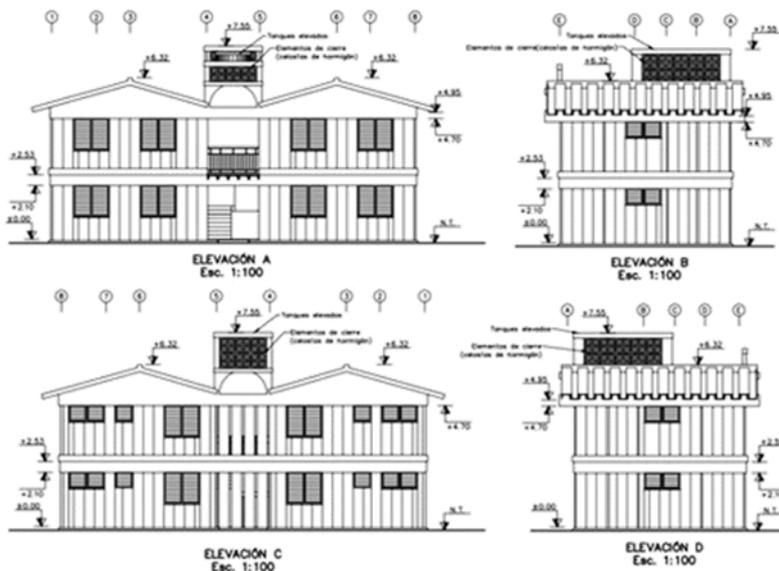


Fig. 15. Elevaciones principales del bloque de cuatro viviendas económicas de una habitación cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.

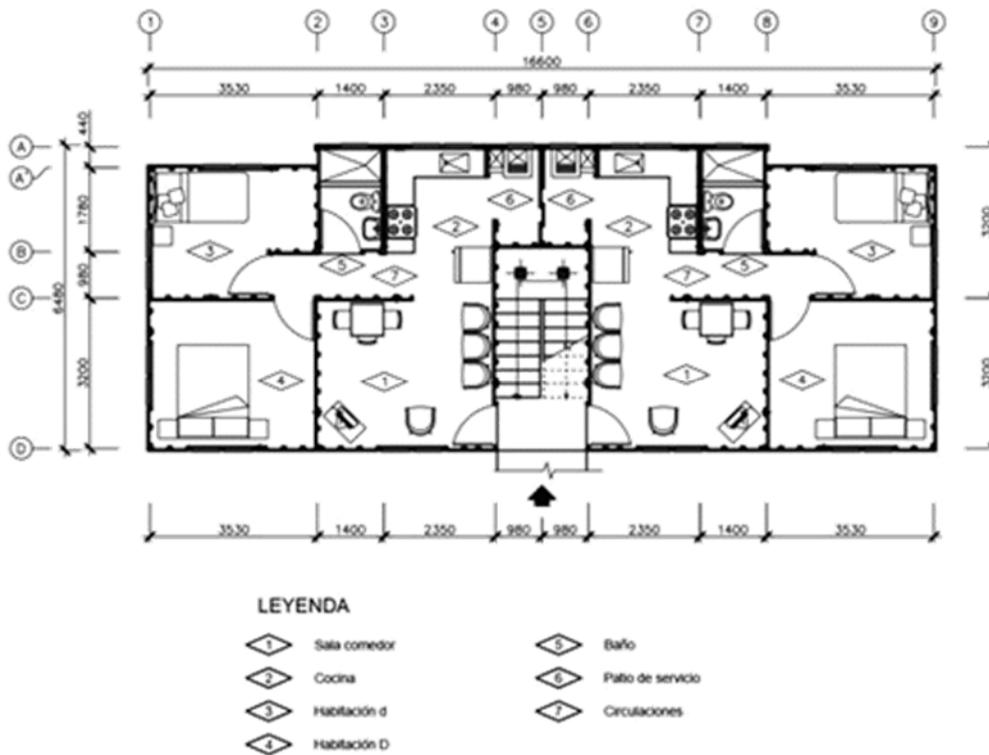


Fig. 16. Planta del bloque de cuatro viviendas económicas de dos habitaciones cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.

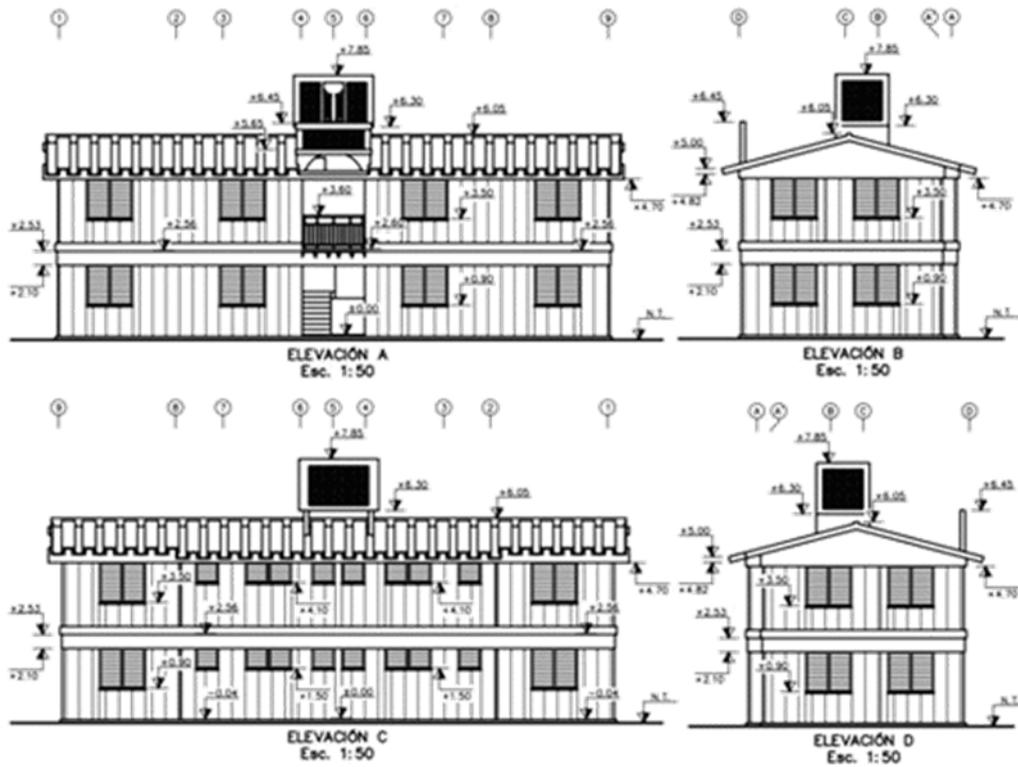


Fig. 17. Elevaciones principales del bloque de cuatro viviendas económicas de dos habitaciones cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.

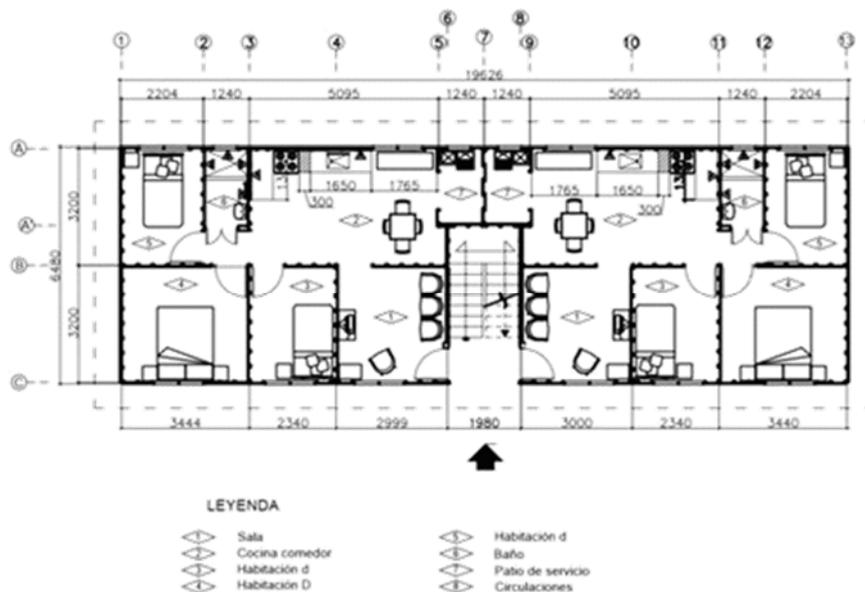


Fig. 18. Planta del bloque de cuatro viviendas económicas de tres habitaciones cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.

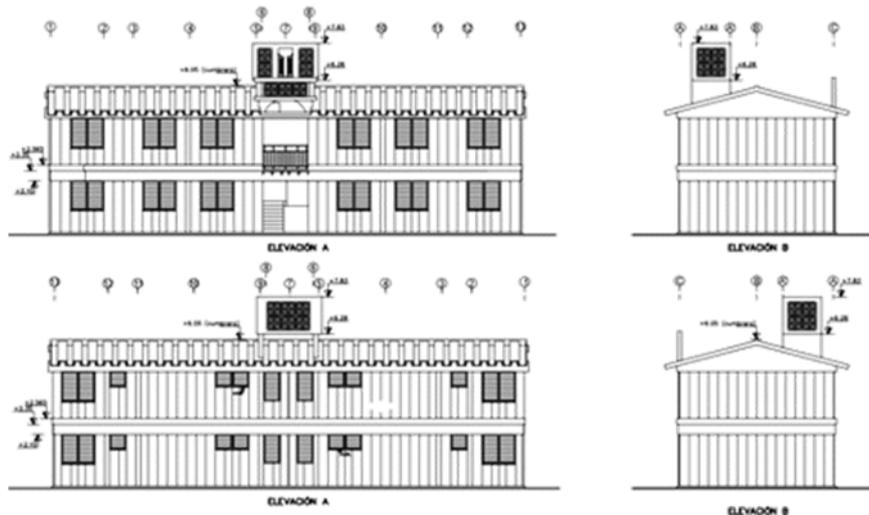


Fig. 19. Elevaciones principales del bloque de cuatro viviendas económicas de tres habitaciones cada una. Edificación de dos niveles proyectada empleando el sistema constructivo SERF.

## Conclusiones

El empleo del ferrocemento en la construcción de viviendas económicas ha sido un punto de mira en varios países, y poco a poco se ha ido convirtiendo en un material cada vez más recurrente en ese uso ya que ofrece amplias ventajas. Representa ahorro de materiales y da la posibilidad de múltiples usos debido a su alta resistencia y elasticidad, características ideales para colocarlo en lugar preferencial en la construcción de disímiles obras. Además, es totalmente posible un mayor aprovechamiento de las posibilidades que brinda para lograr múltiples formas en el diseño y es necesario lograrlo. Sus propiedades lo hacen sumamente atractivo sobre todo para los arquitectos e ingenieros de naciones en vías de desarrollo; rescatarlo y hasta mejorarlo beneficiará a millones de personas en diversas latitudes.

## Bibliografía

- BUSTAMANTE MOLINA, VIVIAN (2014). «Ferrocemento, ¿material del futuro?», en *Cubahora*. [revista digital en línea]. [ref.de 2014]. Disponible en: [www.cubahora.cu/sociedad/ferrocemento-material-del-futuro](http://www.cubahora.cu/sociedad/ferrocemento-material-del-futuro).
- Cementos Bío Bío. Catálogo de la empresa. Ferrocemento* [en línea]. [ref.de 2014]. Disponible en: [www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/1065/ferrocemento-cementos-bio-bio](http://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/1065/ferrocemento-cementos-bio-bio).
- GARCÍA-SIÑERIZ, J. (2010). «Las viviendas de ferrocemento: una oportunidad para la vivienda social. Estudio Sísmico». [En línea]. [ref. de 2010].

Disponible en Web: <http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/index.php>.  
GONZALEZ FRAILE, DAVID (2010). «Ejemplos de sistemas constructivos» [ref. de 2010].

«Paneles de FerroCemento ganan aceptación». [ref. de 2010]. Disponible en: [www.ecosur.org/index.php/108-noticias/novedades/656-paneles-de-ferrocemento-ganan-aceptacion](http://www.ecosur.org/index.php/108-noticias/novedades/656-paneles-de-ferrocemento-ganan-aceptacion). WAINSHOTK, HUGO (s/a). «Sistema de edificios residenciales de ferrocemento (SERF)». Conferencia. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana.

WAINSHOTK, HUGO (s/a). «El ferrocemento en Cuba». Disponible en: [www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan3/411387/411387-05B.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan3/411387/411387-05B.pdf).

## **Procedimiento para la gestión de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba**

### **Procedure for geological risks management in Santiago de Cuba province**

*Por Ing. Liber Galbán Rodríguez\*,  
Dra.C. Ingrid N. Vidaud Quintana\*\*,  
Dr.C. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez\*\*\*  
y Dr.C. Rafael Guardado Lacaba\*\*\*\**

*\* Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones,  
Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.*

*\*\* Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones,  
Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.*

*\*\*\* Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba (CENAI),  
Santiago de Cuba, Cuba.*

*\*\*\*\* Departamento de Geología, Facultad de Geología y Minería,  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.  
e-mail: liberg@fco.uo.edu.cu, chuy@cenais.cu*

#### **Resumen**

En la provincia de Santiago de Cuba existen insuficiencias en el estudio ingeniero geológico, la evaluación de riesgos, el ordenamiento territorial, la planificación física, la organización de acciones, su ejecución, seguimiento y control; es decir, existen problemas de gestión. Para mejorar esa situación se propone un procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en esta provincia, sustentado en los fundamentos teóricos de la gestión por procesos. Su validación logra resultados importantes, entre ellos: el reconocimiento de las principales instituciones que intervienen en la gestión de riesgos geológicos y los múltiples mapas de peligro, vulnerabilidad, riesgos geológicos y zonación ingeniero-geológica de multiamenazas. Finalmente se somete el procedimiento a un colectivo de expertos que ratifican su validez científica.

**Palabras clave:** Riesgos geológicos, gestión de riesgos, procesos, peligro, vulnerabilidad, riesgos

#### **Abstract**

There are insufficiencies in the province of Santiago de Cuba in the study of geological engineering, risk assessment, territorial planning, physical planning, organization of actions an their execution, monitoring and control. In summary, there are management problems. In order to improve this situation, we propose a procedure for the management and reduction of geological risks in this province, based on the theoretical foundations of

process management. Its validation achieves important results, among them: the recognition of the main institutions that intervene in the management of geological risks and the multiple maps of danger, vulnerability, geological risks and engineering-geological zoning of several threats. Finally, the procedure is submitted to a group of experts who ratify its scientific validity.

**Keywords:** Geological risks, risk management, processes, danger, vulnerability, risks

## Introducción

La provincia Santiago de Cuba, debido a sus condiciones ingeniero geológicas, sismicidad y condiciones tectónicas, características litológico-estructurales, relieve montañoso, condiciones hidrográficas y geotécnicas, es considerada como la de mayores potencialidades de peligros y riesgos geológicos en Cuba. En ese territorio se observan daños provocados por la consideración inadecuada de distintos peligros geológicos en diferentes localidades y proyectos de planeación y construcción.

En general, el número de víctimas por la materialización de los riesgos ha disminuido, lo que sugiere una eficiencia creciente en la preparación y atención del problema; no obstante, más de 40% de la población reside actualmente en sectores vulnerables ante el peligro sísmico. Muestra de ello es que 74% de las viviendas, solamente en la ciudad de Santiago de Cuba (principal centro urbano), se encuentran en estado de regular a malo [García, et al., 2002], evidencia de que no se han tomado las medidas suficientes para reducir la vulnerabilidad de los bienes y la población en general del territorio, y del incremento de los riesgos geológicos inducidos por la acción humana.

Por otro lado, este territorio cuenta con un grupo de instituciones y especialistas que trabajan por disminuir progresivamente los riesgos geológicos; sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos, existen dificultades en su integración multidisciplinaria: en varios casos se han tomado decisiones desacertadas que muchas veces ofrecen falta de coherencia al proceso de toma de decisiones, entre ellas, la violación de la norma sísmica cubana, la elección de sitios inadecuados para la realización de determinados proyectos y la extrapolación de sistemas constructivos a territorios expuestos [González, 2008].

Esos elementos señalan que en la provincia Santiago de Cuba existen deficiencias o insuficiencias en el estudio ingeniero geológico, la evaluación de riesgos, el ordenamiento territorial, la planificación física y constructiva, la organización de acciones, su ejecución, seguimiento y control; es decir, existen problemas de gestión; por tanto, para mejorar esta situación se

hace necesario diseñar una herramienta de gestión de riesgos geológicos más eficiente.

## **Desarrollo**

La gestión por procesos es la forma de gestionar toda la organización basándose en los Procesos, entendiendo estos como cualquier actividad o conjunto de actividades ligadas entre sí, que utiliza recursos y controles para transformar elementos de Entrada (especificaciones, recursos, información, servicios...) en resultados o Salidas (otras informaciones, servicios, etc.). Los resultados de un proceso han de tener un valor añadido respecto a las entradas y pueden constituir directamente elementos de entrada del siguiente proceso [Norma..., 2008].

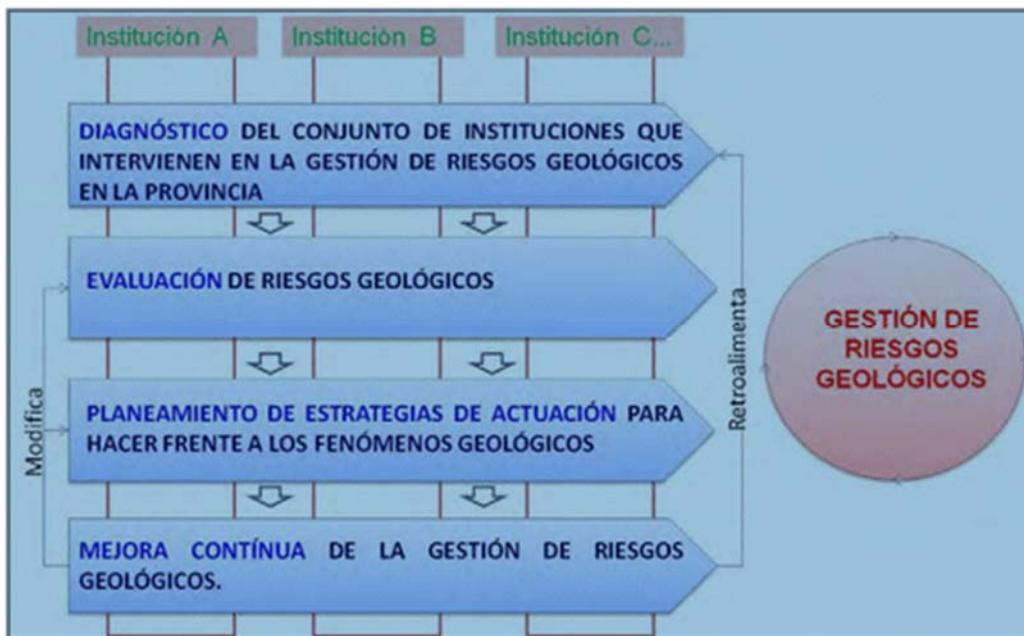
Actualmente la gestión integral de riesgos para reducir los desastres, independientemente de sus características particulares, se encamina decididamente hacia esquemas basados en procesos, tal como ocurre en el resto de la industria y los servicios. En el mundo han surgido numerosas herramientas de trabajo en diversas áreas del desarrollo humano bajo el principio de la gestión por procesos, las cuales no incluyen la gestión de riesgos geológicos dentro de sus aplicaciones. Si se necesita entender el enfoque de procesos aplicando sus principios a la gestión de riesgos geológicos, es necesario extrapolar sus componentes, por ejemplo, la «misión» se erige en la gestión de riesgos geológicos, la «organización» como el conjunto de instituciones (científicas, productivas, educativas, prestadoras de servicios, etc.) que intervienen en la gestión riesgos geológicos, el «cliente» está representado por la comunidad, y los «procesos» son el conjunto de actividades interrelacionadas que inciden de manera significativa en el logro de los resultados para la gestión de riesgos que requiere ser realizada. No existe dificultad alguna en la interpretación y aplicación de los principios generales del enfoque de procesos a la gestión de riesgos geológicos. Se puede decir entonces que es correcto adoptar dicho enfoque.

El procedimiento que se propone, independientemente de que la gestión de riesgos tiene un carácter holístico, pone énfasis en los aspectos relacionados con la geología y su gestión para reducir los desastres. Los procesos y las acciones a desarrollar estarán sujetas a las condiciones que se creen a nivel de Defensa Civil y Gobierno, así como en cada institución de la provincia involucrada en el proceso de gestión, las cuales supervisarán su desarrollo general imponiendo un nuevo modo de trabajo: el previsto de manera general en la gestión por procesos.

Es posible que actualmente se estén realizando de cierta manera algunas de las acciones declaradas dentro de los procesos que forman esta

proposición en la provincia Santiago de Cuba. La investigación realizada evidenció un desconocimiento general de los principios de la gestión por procesos, los cuales pasan necesariamente por el conjunto de elementos esenciales que conforman esta teoría y que asumen una manera diferente de gestionar el actuar diario de las instituciones.

Según el enfoque de procesos se constatan cuatro grandes procesos que se desarrollan sucesivamente, diferenciados por el objetivo que se persigue en cada uno de ellos. Realizando las adecuaciones necesarias se propone que el procedimiento siga una estructura general de trabajo según se plantea en la figura 1.



*Fig. 1. Esquema general del procedimiento que muestra la relación entre los procesos y la gestión de riesgos geológicos como misión.*

#### *Proceso de diagnóstico del conjunto de instituciones que intervienen en la gestión de riesgos geológicos*

El objetivo del diagnóstico es determinar los recursos institucionales que expresan el conocimiento de la organización y su utilización para proponer proyectos o soluciones que permitan la representación del conocimiento organizacional, su aprovechamiento y uso en el mejoramiento cualitativo de la organización; o sea, determinar el estado en que se encuentran sus componentes y su posición estratégica actual respecto a la gestión de riesgos geológicos. El proceso y sus relaciones pueden verificarse de forma simplificada en la figura 2.

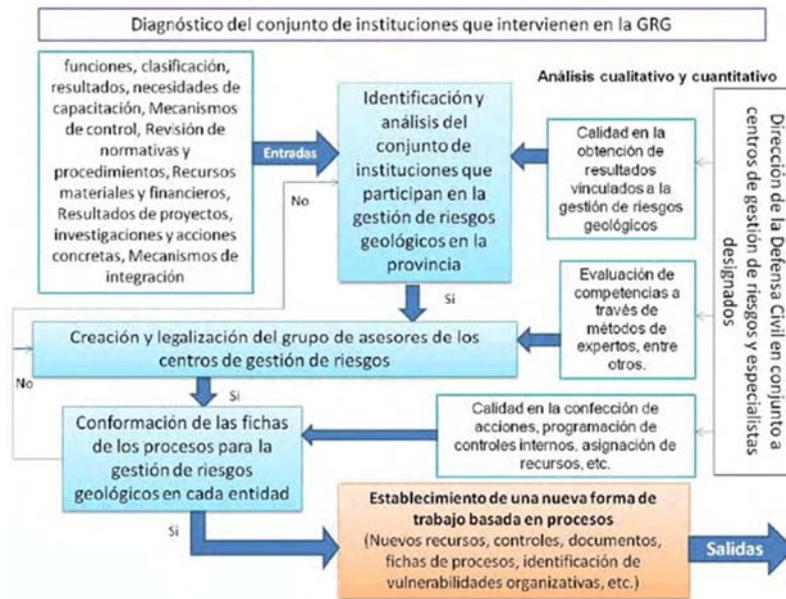


Fig. 2. Esquema general del árbol del proceso de diagnóstico.

### Proceso de evaluación de riesgos geológicos

El objetivo de este proceso es identificar, clasificar, determinar, disponer y difundir datos, informaciones y conocimientos, que permitan y faciliten la caracterización de los distintos procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos que presenta la provincia de Santiago de Cuba, de forma tal que sean asequibles a quienes tienen que tomar decisiones posteriores. De forma simplificada, el proceso y sus relaciones pueden verificarse en la figura 3.

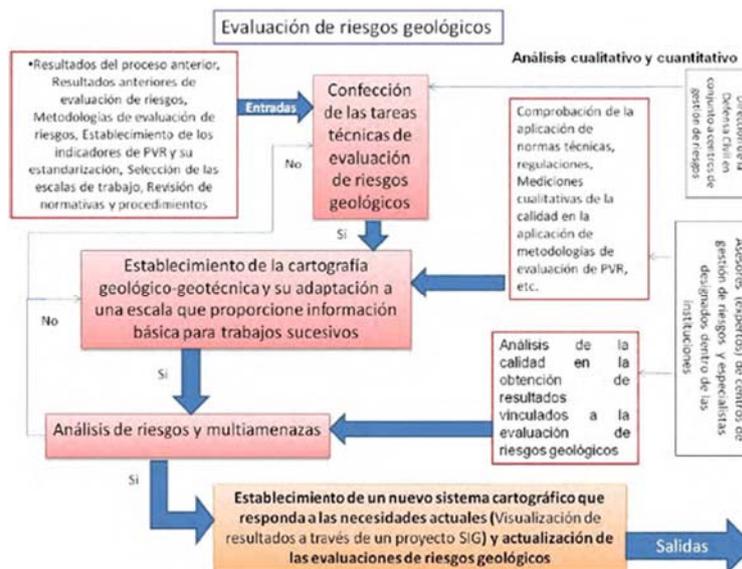


Fig. 3. Esquema general del árbol del proceso de evaluación de riesgos.

Actualmente, debido a la relación que existe entre el medio y la sociedad, así como por lo complejo de los procesos sociales, en la determinación de riesgos se emplean distintas técnicas de modelación que se ajustan cada vez más a esas características, entre ellas, redes neuronales, lógica Fuzzy, etc., cuya combinación ayuda a tener una mejor visión de los indicadores a emplear y los riesgos, según el nivel de aceptabilidad de estos por la sociedad.

Una vez concluido el mapa de riesgo y aprovechando las ventajas de los sistemas de información geográfica, se debe realizar una evaluación del riesgo en los diferentes consejos populares, a niveles de municipio y de provincia. Se deben tabular y graficar los valores de riesgo de los consejos populares, para analizar aquellos consejos que tienen mayor riesgo, ya sea por un tipo de proceso o fenómeno geológico específico, o por varios. La zonación de multipeligros y multirisgos es una herramienta importante debido a que refleja la incidencia de varios procesos y fenómenos geológicos, así como sus efectos en las distintas áreas.

*Proceso de planeamiento de estrategias de actuación para hacer frente a los fenómenos geológicos*

Este proceso está dirigido a la planificación de acciones progresivas que permitan ir del estado actual al deseado, estableciendo los planes de desarrollo y dirección de los distintos elementos relacionados con la reducción de los desastres causados por el impacto de eventos geológicos en la provincia. De forma simplificada, el proceso y sus relaciones pueden verificarse en la figura 4.

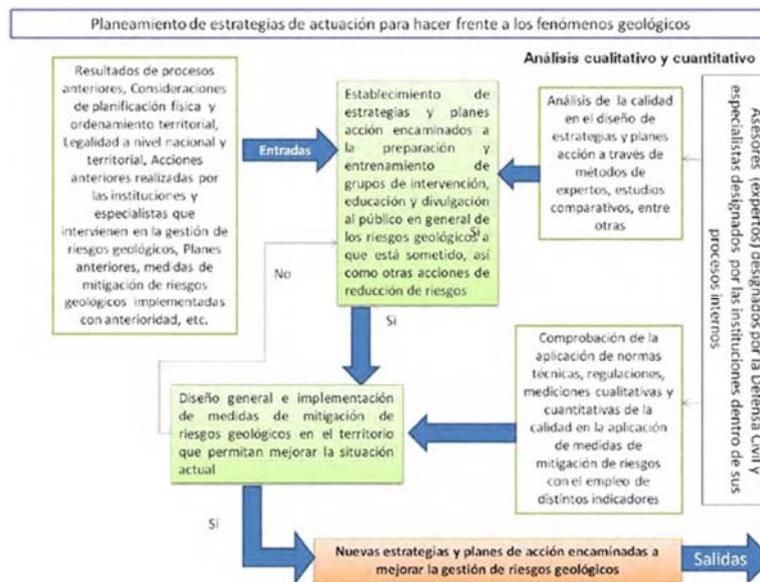


Fig. 4. Esquema general del proceso de planeamiento de estrategias de actuación.

A partir del conocimiento de los riesgos determinados y evaluados en el proceso anterior, se verifican las necesidades fundamentales que deberán ser atendidas para mejorar la situación estudiada. Los mapas de multipeligros y multiriesgos,

A partir del conocimiento de los riesgos determinados y evaluados en el proceso anterior, se verifican las necesidades fundamentales que deberán ser atendidas para mejorar la situación estudiada. Los mapas de multipeligros y multiriesgos, junto a las determinaciones de las vulnerabilidades, ayudan al logro de este objetivo. Se recomienda que la actividad sea realizada por un grupo multidisciplinario de expertos del territorio. El establecimiento de acciones estratégicas deberá realizarse desde las distintas esferas del desarrollo.

Los planes de reducción de riesgos deberán estar diseñados de manera que en ellos se inserte el cumplimiento de lo legalmente establecido en el país. Un proceso importante en el ordenamiento territorial de la provincia, radica en la combinación que debe realizarse de la situación de riesgos diagnosticada y las posibilidades del territorio en la ubicación de las infraestructuras en áreas donde las inversiones en redes de servicios y servicios vitales se garanticen con los menores costos posibles, de manera que facilite la fundamentación y sustentabilidad del proceso de toma de decisiones y diseño de las medidas de reducción de riesgos geológicos.

La compatibilización con los intereses de la defensa se realizará según las indicaciones establecidas por la Defensa Civil Cubana en el Decreto Ley No. 262/1999.

La evaluación de las medidas de reducción de riesgos geológicos deberá realizarse a través de indicadores. Pueden emplearse varios tipos de indicadores que estarán relacionados, entre otros aspectos, con la preparación del terreno, la habilitación correcta de rellenos y rehíncos, los cortes en taludes artificiales y naturales, el diseño y la ejecución de las excavaciones y las cimentaciones, los sistemas que estarán soterrados, la realización de obras de protección, la observación in situ del comportamiento de las cargas proyectadas sobre los suelos, la influencia de eventos geoambientales sobre la obra durante el proceso de ejecución, y el análisis de las condiciones del suelo para construcciones en procesos diversos (referidos a obras que son objeto de rehabilitación, remodelación o mantenimientos, a las variaciones de usos de obras u objetos de obra, y a las variaciones en las condiciones del entorno), etcétera.

#### *Proceso de mejora continua de la gestión de riesgos geológicos*

En este proceso la gestión de riesgos geológicos tiene relación directa con el control y evaluación de las actividades realizadas en los procesos

anteriormente expuestos y su retroalimentación. De forma simplificada, el proceso y sus relaciones pueden verificarse en la figura 5.

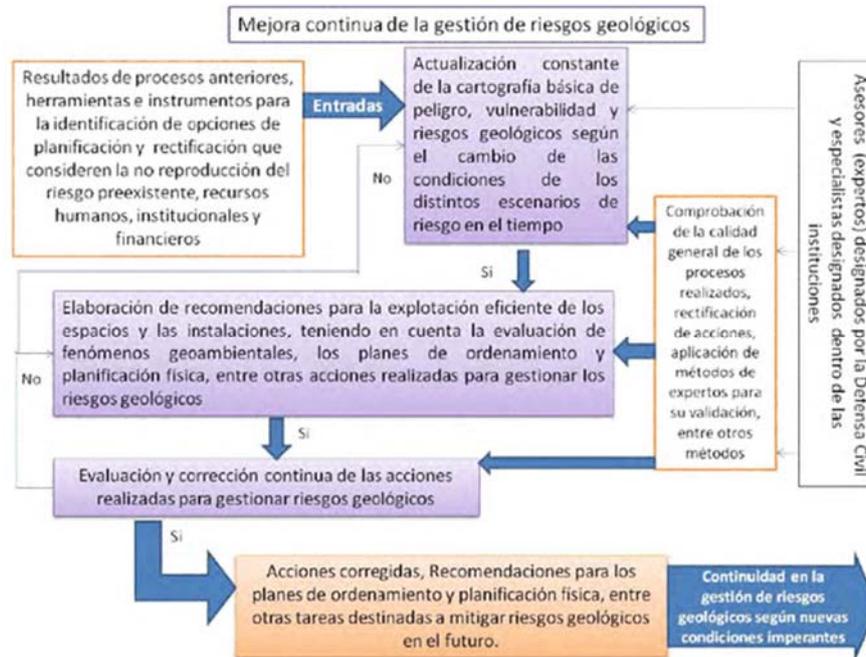


Fig. 5. Esquema general del árbol del proceso de mejora continua.

Cada proyecto terminado constituye un laboratorio virtual para las organizaciones que intervienen en el mismo, por cuanto la mejora continua influye finalmente en la evaluación comparativa que examina otras acciones ejecutadas anteriormente en la región de estudio y las que se ejecutan en otras regiones nacionales e internacionales. Las comparaciones internas permiten mostrar los avances desde el punto de vista histórico de la gestión de riesgos realizada; sin embargo, una comparación con el exterior permitirá mostrar el impacto real de los avances, debido a que permite comparar efectividades relativas en la gestión de los riesgos geológicos, con otros territorios nacionales e internacionales.

El establecimiento de recomendaciones para la mejora continua de la gestión de riesgos geológicos es una actividad practicada internacionalmente; se trata de establecer recomendaciones para su reducción, a partir del conocimiento de los posibles daños que se pueden derivar de la consideración inadecuada de los peligros geológicos, las vulnerabilidades presentes en los territorios y sus riesgos. Muchas de esas recomendaciones están previamente descritas en la literatura internacional publicada. El reconocerlas y adecuarlas al territorio en cuestión, las particulariza y contribuye a que continuamente se consideren en el difícil proceso de la toma de decisiones.

## **Validación del procedimiento propuesto en la provincia Santiago de Cuba**

La validación que se realiza se constituye en una validación empírica, centra su atención en los elementos geológicos del procedimiento y en menor medida en otros aspectos relacionados con la gestión de riesgos. Está sustentada en el análisis documental realizado, el resultado de investigaciones vinculadas a los proyectos en que participa el investigador y la colaboración recibida de las distintas instituciones involucradas en los mismos, así como en la contribución de un colectivo de expertos de diferentes instituciones en los temas tratados, y en el conocimiento ingeniero geológico de la provincia Santiago de Cuba.

Para la realización del diagnóstico se aplicaron los métodos tradicionales de búsqueda de información, entrevistas con especialistas de la provincia y talleres, entre otros. Estos finalmente proporcionaron los elementos necesarios para comprobar el estado actual en que se encuentran las instituciones que intervienen en el proceso de gestión de riesgos geológicos de la provincia Santiago de Cuba a partir de su clasificación, funciones y resultados, llegando a la conclusión de que la influencia en mayor o menor medida de todos los actores durante los últimos 30 años, y los resultados obtenidos por los mismos, permite afirmar que en la provincia santiaguera existe una reconocida experiencia en investigaciones relacionadas con la evaluación de riesgos en la rama geológica, y a pesar de las limitaciones existentes encontradas, estos resultados han sido y pueden ser empleados en la gestión y reducción de riesgos geológicos.

En este caso se partió del empleo de la cartografía digitalizada existente en la provincia Santiago de Cuba a escala media (1:1 00 000-1: 50 000), obteniendo el inventario básico de elementos como relieve, clima, hidrografía, vegetación, geología, población, carreteras, entre otras, ejecutadas entre los años 2002 y 2010 por instituciones del CITMA y la empresa Geocuba Oriente Sur. El inventario de estos elementos aparece en las tablas que acompañan los mapas asociados en el SIG. Así, se logran nuevos mapas y modelos a partir de estas bases y mediante el empleo de distintas metodologías, clasificaciones, indicadores para la evaluación de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR), y datos aportados por el CENAI, la Dirección Provincial de Planificación Física y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba. Entre los principales mapas están los de hidroisohipsas, modelos de niveles freáticos, estado técnico-constructivo general de las viviendas en las comunidades y los viales, mapas de riesgo a licuefacción, riesgos de deslizamientos por intensas lluvias y por sismos, y mapas de multiamenazas geológicas.

De acuerdo a los estudios de PVR realizados anteriormente en Santiago de Cuba, por ejemplo, de riesgos por deslizamientos, en esta ocasión se presentan mapas con la inclusión de nuevos indicadores en su evaluación, como son: los niveles freáticos y la población en riesgo. Igualmente, esta es la primera ocasión en que se obtiene un mapa de riesgo a licuefacción para la provincia en general; los anteriores se obtuvieron solamente para los municipios Santiago de Cuba [García, et al., 2002] y Guamá [Fernández, et al., 2002]. Por otro lado, también constituyen novedad los distintos mapas de multiamenazas para la provincia, los cuales incorporan los nuevos resultados individuales obtenidos, que son una valiosa herramienta que permite identificar por áreas los distintos procesos a las que están sometidas actualmente.

Entre los principales daños esperados se encuentran los derrames de hidrocarburos e incendios inducidos por impacto de un evento sísmico severo en las instalaciones de la Refinería Hermanos Díaz y la planta eléctrica René Ramos Latour, situadas al borde de la bahía santiaguera, derrumbes parciales o totales, interrupción de servicios eléctricos, de comunicaciones y agua potable, enfermedades, etc.; igualmente, se espera el incremento en la degradación de suelos agrícolas producto de los procesos erosivos y afectaciones a las vías de comunicación y viviendas ubicadas en zonas de laderas debido a deslizamientos de tierra, entre otros.

La interpretación de los resultados obtenidos permite definir que los mayores riesgos por deslizamientos debidos a sismos se encuentran en el municipio de Santiago de Cuba y en menor medida de Guamá (principalmente formaciones del Grupo El Cobre), mientras que en el caso de deslizamientos por lluvias se encuentra en los municipios de Guamá, III Frente, Norte de Segundo Frente y la parte sur de Palma Soriano, coincidiendo con la elevada erosión fluvial que ocurre en estas áreas (formaciones del Grupo El Cobre, Formación Camaroncito, parte alta de las formaciones El Caney, San Luis, Mícará y Serpentinitas II Frente).

Por otro lado, la modelación de los niveles freáticos y su combinación con la susceptibilidad litológica dio como resultado que las áreas más sensibles a la ocurrencia de la licuefacción corresponden a las zonas bajas cercanas a la costa, donde los ríos depositan sedimentos aluviales de baja compactación (formaciones Maya, La Cruz, Río Macío, El Caney, Jutía, depósitos aluviales asociados a formaciones del grupo El Cobre). Estos elementos conjugados dan como conclusión que las comunidades e infraestructuras ubicadas en estas áreas son las más amenazadas en la provincia, aspecto que finalmente se confirma en las variantes obtenidas de zonación ingeniero-geológica de multiamenazas.

Estos resultados, unidos a los del diagnóstico y a un grupo de elementos iniciales propuestos en el procedimiento, permitieron plantear un conjunto de estrategias de actuación para hacer frente a los fenómenos geológicos desde distintas aristas (educativas, jurídicas, económicas, organizativas, tecnológicas, investigativas), las cuales se dirigen a reducir los tipos de vulnerabilidad presentes en el territorio santiaguero. Entre las principales están:

- Incrementar progresivamente la capacitación del personal en temas relacionados con la gestión de riesgos geológicos en comunidades (sobre todo costeras y en las riberas de los principales ríos), centros de trabajo (principalmente los generadores de riesgo como la refinería Hermanos Díaz, Planta Renté, UNE, plantas de gas licuado y de gases industriales, etc.), entre otros, estableciendo sistemas de evaluación individual y colectiva.
- Elaborar territorialmente una normativa que permita a todos los integrantes de los grupos multidisciplinarios realizar inspecciones de la aplicación de sus resultados en la práctica, en función de incrementar los controles, mejorar las capacidades de repuesta y la calidad de los sistemas ante el impacto de los eventos geológicos naturales o antrópicos.
- Dirigir acciones encaminadas a promover una política de seguros ante riesgos geológicos.
- Trabajar por incluir un presupuesto especial adicional para garantizar la seguridad estructural de las obras ubicadas en zonas de alta peligrosidad geológica.
- Elaborar planes y estrategias para la integración de las instituciones que intervienen en la gestión de riesgos geológicos del territorio, promoviendo la transformación de su sistema de trabajo hacia la implementación de la gestión por procesos, bajo criterios de las normas ISO 9001, 18000 y 14000.

Para la mejora continua se seleccionó el municipio de Santiago de Cuba como modelo representativo en la provincia. A partir de lo propuesto en esta investigación, se establecieron diferentes lineamientos para el mejoramiento de la gestión de riesgos geológicos:

- Elaboración de un proyecto SIG para generar cartografía básica de peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos para la actualización de la base de datos.
- Introducción de un sistema de matrices por peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos comunes que permitan identificar las áreas más afectadas, los principales indicadores de evaluación de PVR y las

tareas orientadas a mejorar la habilidad de responder rápida y efectivamente frente a cada uno de ellos.

Para validar el procedimiento propuesto se aplicó el método Delphi de consulta a expertos, uno de los métodos conocidos de búsqueda de consenso con respecto a diferentes temáticas. El procesamiento estadístico e informe de los resultados se realizó a partir de la determinación de los valores porcentuales obtenidos. En este se reflejó el total de respuestas por aspectos consultados y categorías señaladas, obteniéndose una matriz de resultados según se muestra en la tabla 1, a partir de la cual se realizan las valoraciones siguientes:

*Tabla 1. Valores porcentuales por parámetros encuestados y categorías de evaluación*

Categoría*	Parámetros						Promedio, %
	1, %	2, %	3, %	4, %	5, %	6, %	
MR	93,75	87,5	87,5	93,75	93,75	100	<b>92,71</b>
BR	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	0	<b>5,21</b>
R	0	6,25	6,25	0	0	0	<b>2,08</b>
PR	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
NR	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>

*\*MR: Muy relevante; BR: Bastante relevante; R: Relevante; PR: Poco relevante; NR: No relevante.*

Como resultado de los análisis realizados se distinguieron algunos aspectos:

- La percepción de la actualidad, la novedad y el rigor científico de la investigación desarrollada.
- El procedimiento constituye una herramienta que puede ser aplicada sin dificultades y sin necesidad de incrementar la documentación prevista en las normativas vigentes.
- El procedimiento aporta una perspectiva de análisis uniforme para gestionar riesgos ante posibles desastres.

- Se considera muy importante el hecho de que con esta propuesta se trabaja a largo plazo para reducir la vulnerabilidad ante la ocurrencia de potenciales eventos geoambientales naturales o inducidos, lo que debe preocupar y ocupar a la comunidad científica y profesional en la región.
- Se pone de manifiesto el interés por contar con esta herramienta que permitirá perfeccionar el trabajo de las entidades, incorporándola al conjunto de indicaciones vigentes para que se garantice su cumplimiento.

Estos criterios avalan la aprobación del procedimiento por parte de los principales usuarios potenciales, lo cual aporta un criterio de pertinencia del resultado alcanzado.

### **Conclusiones**

- Al caracterizar la provincia de Santiago de Cuba se comprobó que posee una alta peligrosidad geológica, donde los sismos, los deslizamientos, la erosión costera y continental, las inundaciones y distintos procesos antrópicos, se manifiestan como los principales eventos generadores de riesgos geológicos. Su consideración inadecuada evidencia una gestión deficiente y un aumento de la vulnerabilidad y de los elementos expuestos al riesgo, lo que atenta contra la seguridad, el desarrollo económico y social del territorio, haciendo necesaria la aplicación de nuevas herramientas de gestión.
- Se propone un procedimiento de gestión y reducción de riesgos geológicos para la provincia Santiago de Cuba, el cual constituye una herramienta efectiva y a la vez generalizable, debido a que sigue principios generales de la gestión por procesos. En este, la valoración de distintos indicadores durante los procesos, la estandarización en las evaluaciones de PVR, las consideraciones sobre las escalas de trabajo, la aplicación de la mejora continua, entre otros aspectos, son elementos novedosos que permiten la introducción dinámica de distintas acciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad presente el territorio santiaguero, y a mejorar la eficiencia y calidad de la gestión de riesgos geológicos.
- La aplicación de este procedimiento en la provincia Santiago de Cuba permitió verificar la validez de la propuesta, logrando como principales resultados: un diagnóstico actualizado del proceso de gestión de riesgos geológicos en la provincia, un conjunto de nuevos mapas de PVR que consideran nuevos indicadores (niveles freáticos, susceptibilidad litológica, riesgo a deslizamientos, estado técnico constructivo, multiamenazas geológicas, etc.), y la proposición

actualizada de distintas estrategias y acciones destinadas al mejoramiento de la gestión, que parten del análisis realizado, con lo que se contribuye a reducir las limitaciones detectadas e incrementar la visión actual de PVR en que se encuentra la provincia.

- Se realiza una validación de la proposición científica, formulada mediante la aplicación del método de expertos que confirma en un alto grado la importancia del procedimiento propuesto.

## Reconocimientos

Los autores desean agradecer a los especialistas e instituciones que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados expuestos en el artículo. Especialmente, a instituciones como el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba (CENAIIS), la Empresa Geocuba Oriente Sur, la Facultad de Construcciones de la Universidad de Oriente, la Defensa Civil, el Centro Provincial para la Gestión y Reducción de Riesgos en Santiago de Cuba y la Dirección Provincial de Planificación Física en Santiago de Cuba.

## Referencias

- CARRILLO, D.; B. ECHAVARRÍA, E. CASTELLANOS, J. TRIFF Y K. NÚÑEZ (2009). *Léxico stratigráfico de Cuba*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, 2009.
- CHUY RODRÍGUEZ, T. J., et al. (2006). «Informe final Proyecto Territorial: Análisis de la vulnerabilidad de la ciudad de Santiago de Cuba ante los eventos hidrometeorológicos extremos (huracanes, ciclones, intensas lluvias e inundaciones)». Santiago de Cuba: CITMA, Archivo CENAIIS, 2006.
- CHUY RODRÍGUEZ, T. J., et al. (2010). «Modelo de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba». Archivos CENAIIS. Cortesía del autor. CITMA. *SIG de la Base Nuevo Atlas Nacional de Cuba, escala 1:100 000*. 2002.
- Colectivo de Autores (2010). *Mapa de peligrosidad por inundaciones costeras provincia Santiago de Cuba*. Taller de trabajo para establecer los límites de las áreas por inundaciones costeras, por penetración del mar e inundaciones por intensas lluvias en los municipios costeros Guamá y Santiago de Cuba. MEGACEN, IDICT, CIES, CENAIIS, CITMA. Santiago de Cuba: Dirección Provincial de Planificación Física, Geocuba, Oriente Sur, Inst. Pedagógico Frank País García, 2010.
- Decreto Ley No. 262/1999 (1999). «Reglamento para la compatibilización del desarrollo económico-social del país con los intereses de la defensa», del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de Cuba, 1999. Disponible en: [www.uh.cu/infogral/areasuh/defensa/dl262.htm](http://www.uh.cu/infogral/areasuh/defensa/dl262.htm)
- Directiva* No. 1/2010 del Vicepresidente el Consejo de Defensa Nacional

«Para la planificación, organización y preparación del país para las situaciones de desastres». 2010. Disponible en: [www.medioambiente.cu/revistama/1004.asp](http://www.medioambiente.cu/revistama/1004.asp).

FERNÁNDEZ MELIÁN, B. C., et al. (2002). «Potencialidad de peligros naturales inducidos en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba y sus alrededores». Archivo CENAIS, 2002.

GALBÁN RODRÍGUEZ, L. (2009). «Algunas reflexiones sobre las causas que generan el riesgo geológico en la provincia Santiago de Cuba», en *III Taller Internacional Nuestro Caribe en el Nuevo Milenio*. 2009. ISBN: 978-959-207-357-9.

GARCÍA PELÁEZ, J. A., et al. (2002). «Informe Final del Proyecto: Mapa de riesgo sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba». Desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, CITMA, para el Programa Nacional de la Defensa. Archivo CENAIS, 2002.

GONZÁLEZ MATOS, O. (2008). «Un aval en la prevención de desastres», en *Granma internacional*, por JOSÉ ANTONIO TORRES, 12(298): oct., 25, 2008. Grupo Nacional de Evaluación de Riesgos. *Lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por penetración del mar, inundación por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos*. La Habana: Agencia de Medio Ambiente, 2008.

Método Delphi. [http://www.prospectiva.eu/zaharra/03\\_Delphi\\_ESTI.pdf](http://www.prospectiva.eu/zaharra/03_Delphi_ESTI.pdf)

NC ISO 14004:2004. *Sistemas de Gestión Ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo*. Oficina Nacional de Normalización, Cuba, 2004.

Norma ISO 9001/2008. International Organization for Standardization (ISO).

ONEI. *Anuario estadístico de Cuba 2012*. La Habana: Oficina Nacional de Estadística e Información, 2012. Disponible en: [www.one.cu/aec2012/20080618index.htm](http://www.one.cu/aec2012/20080618index.htm).

## **Comparación de métodos de análisis bajo carga de viento en una torre autoportada**

### **Comparison of analysis methods under wind load in a self-supporting tower**

*Por M.Sc. Patricia Martín Rodríguez\*,  
Dra.C. Vivian B. Elena Parnás\* e Ing. Katia Luis García\*  
\* CECAT, Facultad de Ingeniería Civil,  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE),  
La Habana, Cuba.  
e-mail: patriciamr@civil.cujae.edu.cu,  
vivian@civil.cujae.edu.cu, katial@civil.cujae.edu.cu*

#### **Resumen**

El estudio de los métodos de análisis para la consideración de la carga de viento en torres auto-soportadas es de gran importancia, debido a que estas tipologías estructurales son altamente vulnerables a la acción de los vientos, especialmente los asociados a los ciclones. Este trabajo tiene como objetivo realizar una comparación entre el procedimiento propuesto por la NC-285:2003 y el método «Factor de Efecto de Ráfaga», basado en la propuesta de la norma internacional de acción del viento sobre las estructuras, ISO-4354, aplicado a una torre auto-soportada. La aplicación del método «Factor de Efecto de Ráfaga» (basado en la norma internacional ISO 4354-2009) arrojó mayores valores de fuerzas axiales, hasta 47%, en los primeros tramos de la altura de la torre, en comparación con los resultados obtenidos por el método propuesto por la NC-285:2003.

**Palabras clave:** Torre autoportada, métodos de análisis, cargas de viento

#### **Abstract**

The study of the methods of analysis for the consideration of wind load in self-supported towers is of great importance, because these structural typologies are highly vulnerable to the action of winds, especially those associated with cyclones. The objective of this article is to making a comparison between the procedure proposed by NC- 285: 2003 and the method "Burst Effect Factor", based on the international standard about wind action on structures, ISO-4354, applied to a self-supporting tower. The application of the method "Burst Effect Factor" (based on the international standard ISO 4354-2009) showed higher values of axial forces, up to 47%, in the first sections of the tower, in comparison with the results obtained by the method proposed by NC- 285: 2003.

**Keywords:** Self- supporting tower, analysis methods, wind loads

## Introducción

El estudio de los métodos de análisis para la consideración de la carga de viento en torres autosportadas es de gran importancia debido a que estas tipologías estructurales son altamente vulnerables a la acción de los vientos, especialmente los asociados a los ciclones. En el período del 1996-2012 fallaron 59 torres de telecomunicaciones en Cuba debido al paso de los ciclones [Elena, et al., 2011; Martín, 2012]. Uno de los aspectos a revisar para evitar los fallos son los métodos de cálculo usados para el diseño de las torres de telecomunicaciones, ya que estos han evolucionado [Davenport, 1967 y 1987; Loredo-Souza y Davenport, 2003; Zhou y Kareem, 2001].

La forma típica de la respuesta de las torres frente a carga de viento se muestra en la figura 1 [Madugula, 2002]. En este caso, la respuesta  $r$  representa cualquier acción estructural: fuerza axial, desplazamiento, cortante, etc., generada por la acción del viento. La respuesta total es separada en una componente media constante ( $\bar{r}$ ) y en una componente dinámica que fluctúa aleatoriamente sobre el valor medio de la respuesta. La componente fluctuante se puede dividir en dos: componente de fondo o no resonante (Background) y componente resonante [Madugula, 2002]. La figura 1 b muestra el espectro de respuesta de la estructura, donde las áreas rayadas bajo el espectro de potencia representan la varianza de la respuesta correspondiente. En la componente no resonante (Background) la energía se extiende sobre una amplia gama en el intervalo de bajas frecuencias [Loredo-Souza y Davenport, 2003], que representa la respuesta semi-estática para las ráfagas de viento de mayor duración. La componente resonante consta de una serie de picos muy concentrados, centrados en las frecuencias naturales de la estructura [Loredo-Souza y Davenport, 2003].

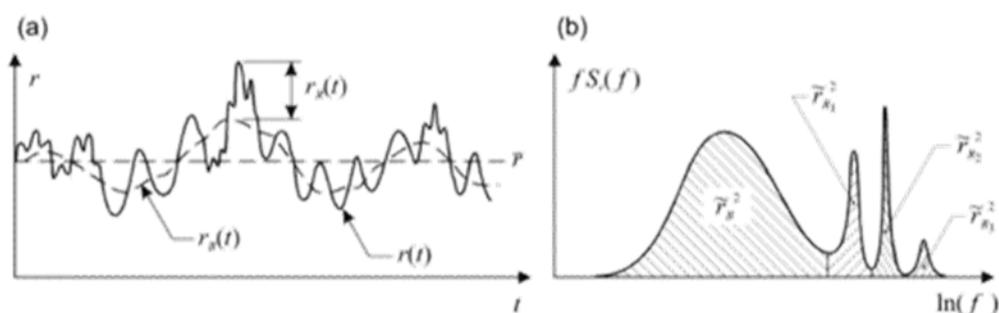


Fig. 1. Respuesta de la estructura frente a carga de viento, a) Historia del tiempo (time history) b) Espectro de potencia (Power spectrum).  
Fuente: [Madugula, 2002].

A nivel internacional [Davenport, 1967 y 1987; Loredou-Souza y Davenport, 2003; Zhou y Kareem, 2001], los métodos para el análisis de las estructuras esbeltas, incluyendo las torres autoportadas de celosía, bajo carga de viento se basan en definir los procedimientos para tomar en cuenta cada una de las componentes de la respuesta de la estructura (media, no resonante y resonante). Todos los métodos incluyen el análisis de la respuesta media de la estructura, es decir, la componente estática; sin embargo, la consideración de la componente dinámica, que incluye la respuesta resonante y no resonante, varía en función de las características de la estructura. Los métodos identificados en la bibliografía para el análisis de las torres autoportadas son el método estático conocido como método «Factor de Velocidad de Ráfaga» y los métodos dinámicos «Factor de Efecto de Ráfaga» y el método de «Líneas de Influencia». El método de «Líneas de Influencia» no se encuentra incluido en las normas internacionales de cálculo, debido a que es muy engorrosa su aplicación y poco útil para fines de ingeniería [Kareem y Zhou, 2003]. El método más aplicado internacionalmente para el análisis de las torres autoportadas bajo carga de viento es el «Factor de Efecto de Ráfaga».

Este método fue desarrollado por Davenport a inicios de la década del sesenta [Davenport, 1964, 1967 y 1969] y se encuentra incluido en las normas de acción del viento sobre las estructuras [AS/NZS..., 2011; ASCE..., 2010; EN..., 2004; ISO..., 2009; NBCC, 2010] y en las normas específicas para torres de telecomunicaciones [AS..., 1994; BS..., 1999; CSA..., 2001; EC..., 2007; TIA..., 2005]. El método permite, a partir del modelo matemático del viento y de la estructura, utilizando la teoría de vibraciones estocásticas estimar las cargas inducidas por el viento y la respuesta dinámica longitudinal de estructuras. Davenport expuso que los desplazamientos máximos de la estructura debido al viento podían ser determinados multiplicando los desplazamientos estáticos medios por el factor de respuesta de ráfaga. El factor de respuesta de ráfaga contiene dos términos dinámicos, uno para los efectos no resonantes y el otro para los efectos resonantes.

Los detalles del método fueron expuestos por Davenport [1967] y se encuentran resumidos en la figura 2. La demostración del procedimiento para obtener las expresiones del método de factor de ráfaga puede encontrarse en los trabajos [Davenport, 1967; Blessman, 1998; Zhou, et al., 2002].

Desde la década del setenta y hasta los años 2000 se realizaron varios trabajos [Zhou y Kareem, 2001; Kareem y Zhou, 2003; Kwon y Kareem, 2013; Simiu y Scanlan, 1996; Solari, 1990; Solari y Kareem, 1998] en los que se perfecciona el método de factor de respuesta de ráfaga propuesto por Davenport, y se proporcionan fórmulas simplificadas para su aplicación.

Una de las variaciones del método está en la multiplicación del factor de ráfaga por la fuerza media del viento y no por la respuesta media de la estructura; por esta razón el método ha adoptado el nombre de «Factor de Efecto de Ráfaga», ya que puede estar modificando tanto la respuesta como la fuerza del viento. Otra de las modificaciones realizadas al método «Factor de Respuesta de Ráfaga» propuesto por Davenport fue realizada por Zhou y Kareem [2001], quienes tuvieron en cuenta la forma no lineal del primer modo de oscilación a partir de obtener la formulación del método basado en la respuesta del momento flector máximo en la base de la estructura, y no en el desplazamiento. Los resultados de Zhou y Kareem [2001] se encuentran incluidos en la norma internacional ISO 4354-2009 «Acción del Viento sobre las Estructuras» [ISO..., 2009].

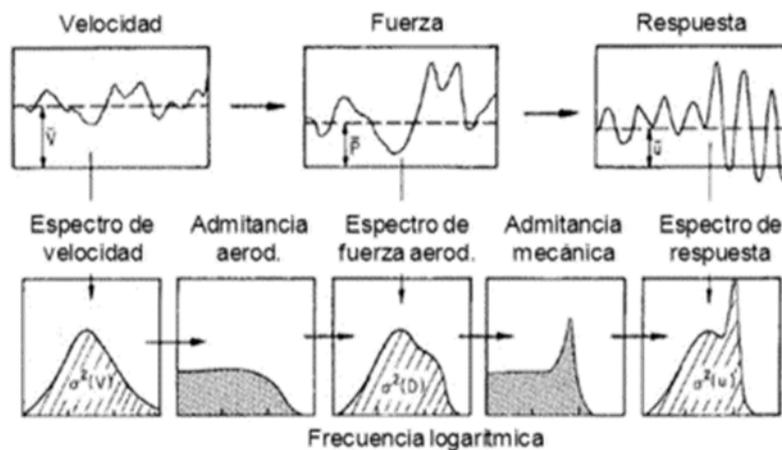


Fig. 2. Procedimiento de Davenport para determinación de la respuesta de las estructuras bajo cargas de viento. Fuente: [Davenport, 1967].

Las particularidades de la obtención del factor de respuesta de ráfaga en torres autoportadas de celosía fue realizado por Holmes [1994 y 1996] en los años noventa, quien propuso una metodología para el cálculo del factor de respuesta de ráfaga en los esfuerzos de cortante y momento, y para los desplazamientos en torres autoportadas.

En Cuba, el método de análisis para la consideración de la componente dinámica del viento se incorporó a las normas cubanas de viento a partir de 1983 [NC..., 1983, 1990 y 2013]. El método fue adoptado a partir de los estudios realizados en la Unión Soviética [Llanes, 2013].

Este trabajo tiene como objetivo realizar una comparación entre el procedimiento propuesto por la NC-285:2003 [2013] y el método «Factor de Efecto de Ráfaga», basado en la propuesta de la norma internacional de acción del viento sobre las estructuras ISO-4354 [2009], aplicados a una torre autoportada.

## Descripción del estudio

La torre autoportada de telecomunicaciones seleccionada para el estudio es la tipo Najasa, de diseño y fabricación nacional. Esta torre es de sección transversal cuadrada, el ancho de la base es de 6 m y presenta forma troncopiramidal hasta los 45 m de altura, donde comienza una torreta de sección transversal constante de 1,17 m hasta los 60 m. La torre alcanza una altura total de 70,9 m con la ubicación de un mástil de sección tubular en la parte superior de la torreta como soporte de los paneles UHF (Fig. 3). La torre está compuesta por columnas, diagonales principales, tranques principales, diagonales y tranques secundarios y tranques interiores. Las características principales de la geometría y los tipos de perfiles se muestran en la figura 4.



*Fig. 3. Vista general de la torre modelo Najasa.*

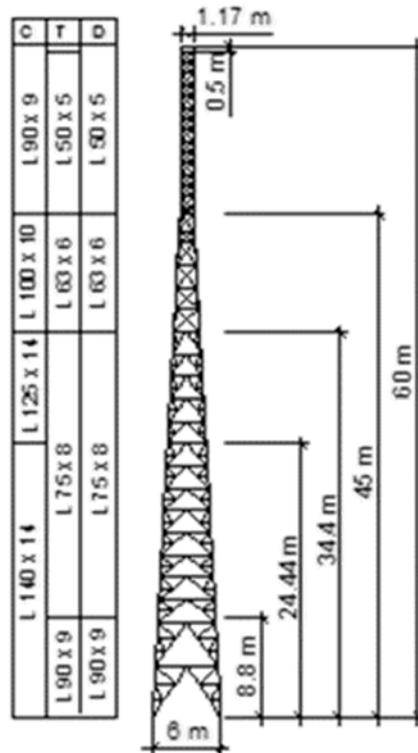


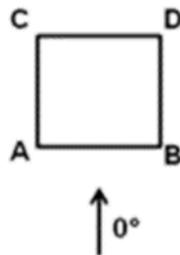
Fig. 4. Dimensiones geométricas.

La modelación y análisis de la torre se llevó a cabo utilizando como herramienta el programa de análisis estructural SAP 2000 (versión 14) [Wilson, et al., 1973], basado en el método de elementos finitos. Fue realizado un análisis lineal geométrico. La torre fue modelada para los fines de esta investigación como una armadura espacial, reproduciendo de forma detallada cada miembro de la estructura tridimensional de sección cuadrada en planta. Los elementos de la armadura fueron modelados como barras, elementos lineales con dos nudos extremos. Las columnas se consideraron continuas desde la base hasta la cima, arriostradas por los tranques principales, los cuales disminuyen la longitud de pandeo del elemento y rigidizan la estructura. La unión de los elementos tranques a la columna se consideró articulada, al igual que las diagonales y diagonales secundarias, tranques interiores y tranques secundarios.

El material que conforma los elementos de las torres es acero de calidad A-36 (Tensión de fluencia 250 MPa, Tensión de rotura 400 MPa); sus propiedades se consideraron linealmente elásticas y constantes en el tiempo. Las condiciones de apoyo de la torre fueron empotradas debido a que sus patas tienen apoyos independientes empotrados en la cimentación. En el diseño de las torres de celosía las principales cargas analizadas son la carga permanente y las ecológicas. La carga ecológica analizada en este trabajo es la de viento. Para el cálculo de las torres de celosía se

consideran como cargas permanentes el peso de los elementos estructurales y el de las antenas y los elementos accesorios, como escaleras y balcones. En este trabajo no se tomaron en cuenta las cargas producto de los elementos accesorios. Las tipologías fundamentales de antenas de televisión son: UHF, VHF y parábolas; se consideraron para el estudio 24 paneles UHF, 12 paneles VHF y 8 parábolas. El peso de las antenas UHF y VHF se obtuvo del catálogo de la empresa RYMSA [2012] y el de las parábolas, del catálogo de la empresa RFS [2013].

Los coeficientes utilizados para el cálculo del valor de la carga de viento sobre la torre, se realizaron de acuerdo a lo establecido en la norma cubana de viento NC:285-2003 [2013]. La torre fue dividida en diferentes tramos para el análisis, y en su punto medio se consideró aplicada la carga de viento de forma concentrada sobre los cuatro nudos que se encuentran en los vértices de la sección transversal de la torre. La dirección de viento utilizada para la comparación entre los métodos fue 0 grados (figura 5).



*Fig. 5. Dirección de viento ensayada*

El período de oscilación del primer modo de la torre con presencia de antenas fue de 1,25 segundos (frecuencia 0,8 Hz), por lo que fue necesario tener en cuenta la componente dinámica de la carga de viento en el procedimiento propuesto por la norma cubana de viento NC:285-2003 [2013].

El método dinámico «Factor de Efecto de Ráfaga» es un método estático equivalente basado en la teoría desarrollada por Davenport [1967]. La carga de viento estática equivalente pico sobre la estructura es definida por el producto de la fuerza media del viento y un factor de amplificación; ver ecuación (1).

$$\hat{P}^T(z) = G^T \bar{P}^T \quad (1)$$

Donde:

$\bar{P}^T$ : Carga de viento estática equivalente pico a la altura  $z$  durante un tiempo de observación

$T$ ; usualmente es 1 hora, o 10 minutos para la mayoría de las aplicaciones en ingeniería civil [Holmes, 1994]

$\tau$ : Tiempo del intervalo de promediación utilizado para la obtención de la velocidad media del viento

$\overline{P^\tau}$ : Fuerza media del viento para un tiempo de promediación, definida por la ecuación (2).

$$\overline{P^\tau}(z) = q(z) C_e A_{ref} \quad (2)$$

Donde:

$C_e$ : Coeficiente de arrastre (coeficiente de forma)

$q(z)$ : Presión del viento media evaluada para una altura  $z$  sobre el terreno

$A_{ref}$ : Área de referencia

$G^\tau$ : Factor de ráfaga dado por la ecuación (3).

$$G^\tau = \frac{G_W^\tau}{G_q^\tau(T)} \quad (3)$$

Donde:

$G_q^\tau(T)$ : Factor de ráfaga para la presión de la velocidad del viento dado en la ecuación (4)

$G_W^\tau$ : Factor de efecto de ráfaga dado en la ecuación (5).

$$G_q^\tau(T) = \frac{\overline{q^\tau}}{q^\tau} = 1 + 2I_v g_v \quad (4) \text{ y } (5)$$

$$G_W^\tau = \frac{\widehat{W}}{\overline{W}} = 1 + g_w \frac{\sigma_w}{\overline{W}}$$

Donde:

$\overline{W}$ : Efecto de carga media

$\sigma_w$ : Desviación estándar del efecto de carga

$g_w$ : Factor pico estadístico del efecto de carga

El efecto de la carga de viento fluctuante,  $\sigma_w$ , varía con la excitación debido a las ráfagas del viento, las diferencias de presión o las fuerzas de movimiento inducidas.

Las expresiones y nomenclatura del método aplicadas en esta investigación son las definidas en el «Método velocidad media» de la norma internacional ISO 4354-2009 «Acción del viento sobre las estructuras» [ISO..., 2009].

El efecto de la carga de viento máximo o pico ( $\widehat{W}$ ) se obtiene a partir de la combinación de las componentes media, no resonante y resonante, según la ecuación (6).

$$W_D = W_M + \sqrt{(W_B^2 + W_R^2)} \quad (6)$$

Donde:

$W_M$ : Efecto medio de la carga debido a la componente media de la carga de viento,  $F_m$

$W_B$ : Efecto de la carga debido a la componente de la carga de viento no resonante,  $FB$

$W_R$ : Efecto de la carga debido a la componente de la carga de viento resonante,  $FR$

## Resultados

La comparación entre los métodos «Factor de Efecto de Ráfaga» (ISO–4354:2009) y el método de la NC 285-2003, estuvo basada en las diferencias que existen entre los valores máximos de las fuerzas axiales en los elementos columnas y en los desplazamientos máximos. Las columnas de la torre fueron subdivididas en varios tramos según variaban las dimensiones de las secciones de los perfiles con la altura, tomando como tramo 1 el más cercano a la base de la torre.

Los gráficos de la figura 6 muestran los valores máximos de las fuerzas axiales, tanto a tracción como compresión, para los tramos de las columnas en los dos métodos analizados. Los valores de las fuerzas axiales mostrados en los gráficos están dados en kN. Los incrementos de los valores máximos de las fuerzas del método propuesto por la ISO-4354:2009 con respecto al método planteado por la NC-285:2003, se encuentran en el intervalo entre 2 y 32% para los elementos columnas.

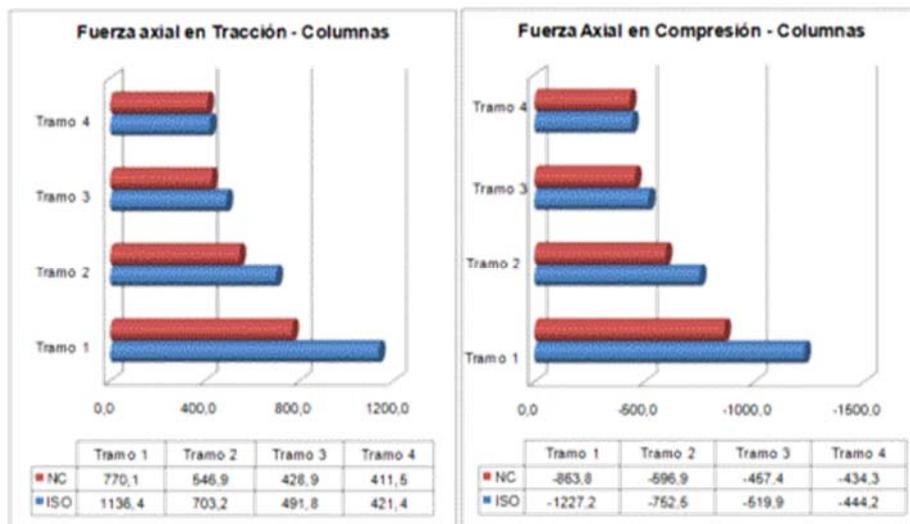
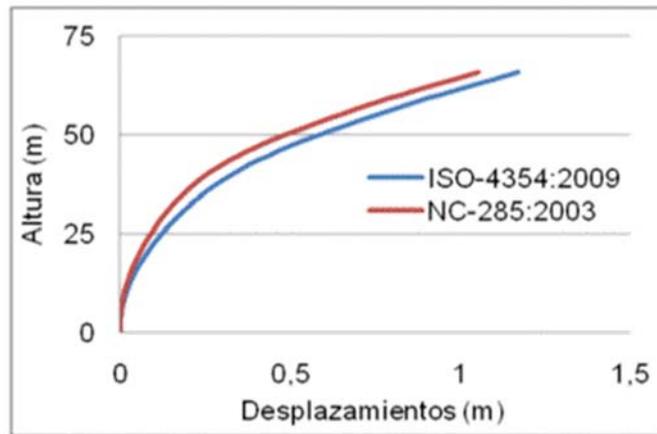


Fig. 6. Comparación Método Factor de Efecto de Ráfaga vs. Método de la NC para las fuerzas axiales en columnas

La figura 7 muestra los valores de los desplazamientos en función de la altura para cada uno de los métodos; se observa que el comportamiento entre ambos métodos es el mismo y que el Método Factor de Efecto de Ráfaga presenta mayores valores máximos. El incremento del valor máximo de los desplazamientos del método propuesto por la ISO-4354:2009 con respecto al método planteado por la NC-285:2003, es de 11%.



*Fig. 7. Comparación Método Factor de Efecto de Ráfaga vs Método de la NC para los desplazamientos.*

## **Conclusiones**

El método más aplicado internacionalmente para la consideración de la acción longitudinal del viento en estructuras con comportamiento dinámico tipo voladizo, es el «Factor de Efecto de Ráfaga», inclusive en regiones con condiciones de vientos similares a las cubanas; sin embargo, no es uno de los métodos reconocidos en la norma cubana de viento, por lo que se recomienda su inclusión.

La aplicación de los métodos estáticos-equivalentes arrojó mayores valores de fuerzas axiales, hasta 47% en los primeros tramos de la altura de la torre obtenidos por el método «Factor de Efecto de Ráfaga» (ISO 4354-2009), que los obtenidos por el método propuesto por la NC-285:2003.

## **Bibliografía**

- AS/NZS1170.2-2011 (2011). *Australian/New Zealand Standard: Structural Design Actions, Part 2: Wind Actions*, 2011.
- AS3995-1994 (1994). *Australian Standard: Design of Steel Lattice Towers and Masts*, 1994.
- ASCE7-10 (2010). *American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, 2010.

BLESSMAN, J. (1998). *Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento*. E.U, UFRGS, 1998.

BS8100-3 (1999). *Lattice Towers and Masts Part 3: Code of Practice for Strength Assessment of Members of Lattice Towers and Masts*, British Standards Institution, London, UK, 1999.

CSA S37-01 (2001). *Antennas, Towers, and Antenna Supporting Structures*, Canadian Standards Association, Rexdale, Canada, 2001.

DAVENPORT, A. G. (1964). «The Buffeting of Large Superficial Structures by Atmospheric Turbulence», en *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1964.

————— (1967). «Gust Loading Factors», en *Journal of Structural Division*, ASCE, 93: 11-34, 1967.

————— (1969). «The Relationship of Wind Structures to Wind Loading», en *Proceedings of the Conference on Tower Shaped Structures*, Hague, 1969.

————— (1987). «The Response of Slender Structures to Wind in the Application of Wind Engineering Principles to the Design Structures». Switzerland: 1987.

EC 3: Part 3-1 (2007). *Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 3-1: Towers, Masts and Chimneys-Towers and Masts*, 2007.

ELENA PARNÁS, VIVIAN; PATRICIA MARTÍN RODRÍGUEZ Y D. SAN MIGUEL (2011). «Modelación computacional y análisis cualitativo de fallas en el estudio de la vulnerabilidad de torres atirantadas de telecomunicaciones», en *Revista Cubana de Ingeniería*, 2(1): 25-34, 2011.

EN1991-1-4 (2004). *Eurocode 1: Actions on Structures. General Actions, Part 1-4: Wind Actions*, 2004.

HOLMES, J. D. (1994). «Along-Wind Response of Lattice Towers: Part I. Derivation of Expressions for Gust Response Factors», en *Engineering Structures*, 16(4): 287-292, 1994.

————— (1996). «Along-Wind Response of Lattice Towers: Part II. Aerodynamic Damping and Deflections», en *Engineering Structures*, 18(7): 483-488, 1996.

ISO 4354 (2009). *Wind Action on Structures*, 2009.

KAREEM, A. Y Y. ZHOU (2003). «Gust Loading Factor: Past, Present and Future», en *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91: 1301-1328, 2003.

KWON, D. K. Y A. KAREEM (2013). «Comparative Study of Major International Wind Codes and Standards for Wind Effects on Tall Buildings», en *Engineering Structures*, 51(0): 23-35, 2013.

LLANES BURÓN, C. (2013). Comunicación personal con el Dr. Ing. Carlos Llanes Burón, Presidente del Comité de Normalización de Cargas de Viento, La Habana, jun., 2013.

- LOREDO-SOUZA, A. M. Y A. G. DAVENPORT (2003). «The Influence of the Design Methodology in the Response of Transmission Towers to Wind Loading», en *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91: 995-1005, 2003.
- MADUGULA, M. K. S. (2002). *Dynamic Response of Lattice Tower and Guyed Mast*. Virginia, USA: Ed. ASCE, 2002.
- MARTÍN RODRÍGUEZ, PATRICIA (2012). «Evaluación de la vulnerabilidad estructural de torres autosoportadas de telecomunicaciones bajo cargas de viento y sismo». Director: Vivian Elena Parnás. Tesis de Maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, 2012.
- NBCC (2010). *National Research Council of Canada, National Building Code of Canada*, vol. 2, 2010.
- NC-285:2003 (2013). *Carga de viento. Método de cálculo*. Cuba, 2003.
- NC53-41:1983 (1983). *Cargas de Viento. Método de cálculo*, Cuba, 1983.
- NC53-41:1990 (1990). *Elaboración de proyectos de construcción. Cargas de viento. Método de cálculo*, La Habana, 1990.
- RFS (2013). *Catálogo RFS, AWS Microwave, Antenna System*, 2013. Disponible en: [www.rfsworld.com](http://www.rfsworld.com).
- RYMSA (2012). *Catálogos de Antenas RYMSA*, edición 8, 2012. Disponible en: [www.rymsa.com](http://www.rymsa.com).
- SIMIU, E. Y R. H. SCANLAN (1996). *Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design*. Third Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- SOLARI, G. (1990). «A Generalized Definition of Gust Factor», en *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36: 539-548, 1990.
- SOLARI, G. Y A. KAREEM (1998). «On the Formulation of ASCE7-95 Gust Effect Factor», en *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1998, 77-78, p. 673-684.
- TIA/EIA-222-G (2005). *Structural standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures*, Telecommunications Industry Association, USA, 2005.
- WILSON, E. L.; K. J. BATHE, F. E. PETERSON, H. H. DOVEY Y SAP (1973). «A Structural Analysis Program for Linear Systems», en *Nuclear Engineering and Design*, 1973, 25, 257-274.
- ZHOU, Y. Y A. KAREEM (2001). «Gust Loading Factor: New Model», en *Journal of Structural Engineering*, 127(2): 168-175, 2001.
- ZHOU, Y.; T. KIJEWski Y A. KAREEM (2002). «Along-Wind Load Effects on Tall Buildings: Comparative Study of Major International Codes and Standards», en *Journal of Structural Engineering*, 128(6): 788-796, 2002.

## **Biofertilizantes a partir de residuos agrícolas**

### **Biofertilizers from agricultural waste**

*Por Ing. Ana Francisca Romero Guiñán\* y Dra. Ileana Pereda Reyes\*\**

*\* Ingeniera Química, Universidad Bolivariana de Venezuela,  
PFG Hidrocarburos, Estado Falcón, Venezuela.*

*\*\* Directora del Centro de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de  
Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
(CUJAE), La Habana, Cuba.*

*e-mail: a\_romeroguian@yahoo.es e ileana@quimica.cujae.edu.cu*

### **Resumen**

La producción agrícola en los sistemas convencionales utiliza principalmente fertilizantes químicos para proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios. Estos tienen un elevado costo, y además en algunos casos son importados al país. Se ha estudiado que el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos provoca que los suelos sufran un acelerado agotamiento de materia orgánica, y un desbalance de los nutrientes que con el pasar del tiempo hace que pierdan su fertilidad, y con ello su capacidad de producción. Hoy en día se requiere realizar una actividad agrícola más amigable con el ambiente, y que al mismo tiempo permita aumentar la producción de alimentos. Es por ello que se han desarrollado diversos estudios para la obtención de biofertilizantes, que cuando se aplican a semillas, superficies de plantas o suelos, colonizan la rizosfera o el interior de la planta y promueven el crecimiento, al incrementar el suministro o la disponibilidad de nutrientes primarios a la planta huésped. Con relación a los manejos sostenibles en la agricultura, se plantea realizar una vigilancia tecnológica de los biofertilizantes obtenidos a partir de los desechos agrícolas, que son generados por los mismos productores, con el fin de tener un mejor aprovechamiento de los recursos existentes.

**Palabras clave:** Abono orgánico, biofertilizantes, residuos agrícolas, biotecnología, medio ambiente

### **Abstract**

Agricultural production in conventional systems mainly uses chemical fertilizers to provide plants with the necessary nutrients. These have a high cost, and in some cases are imported. It has been studied that the indiscriminate use of chemical fertilizers causes the soils to suffer an accelerated depletion of organic matter, and an imbalance of the nutrients that over time provokes fertility loss, and yield capacity. For these reasons it is necessary to carry out an environment friendly agricultural activity that at the same time increases food production. Several studies have been carried

out to obtain biofertilizers, which when used on seeds, plant surfaces or soils, colonize the rhizosphere or the inner part of the plant promoting growth by increasing the supply or availability of primary nutrients to the host plant. Regarding agricultural sustainable management, it is proposed to perform a technological surveillance of biofertilizers obtained from agricultural waste, which are generated by the producers themselves, in order to have a better use of existing resources.

**Keywords:** Organic fertilizer, biofertilizers, agricultural residues, biotechnology, environment

## Introducción

En la medida en que la agricultura evolucionó hacia una producción industrial se conformaron paquetes tecnológicos, dentro de los cuales estuvieron los fertilizantes sintéticos solubles que básicamente incluyeron al nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Esos fertilizantes son muy ineficientes energéticamente y generan desequilibrios ambientales y nutricionales para las plantas y para quienes las consumen [Decara, et al., 2004]. El mal uso agrícola de los suelos, que desafortunadamente ocurre en diversas zonas cultivables, ha ido intensificando los problemas de fertilidad en los mismos. Particularmente, el uso intensivo de los fertilizantes químicos ha conllevado a elevar los costos de producción de muchos alimentos y otros derivados de la agricultura haciéndolos poco competitivos en el mercado [Salamanca, 2009]. Cabe mencionar que son demasiado caros, o el valor de la cosecha no justifica su costo. En lugares donde hay disponibilidad de fertilizantes es común la sobre fertilización, una práctica que puede contaminar los depósitos de agua subterránea, produciendo riesgos para la salud de las poblaciones circundantes y alterando el medio ambiente local [Díaz Franco y Mayekvpérez, 2008].

En la actualidad se pone énfasis en la necesidad de establecer prácticas que permitan mantener el nivel de productividad de los suelos, incrementar la producción agrícola y preservar los ecosistemas en el tiempo [Equipo..., 2008]. La necesidad de nuevas alternativas de fertilización para los cultivos, se ha convertido en uno de los motivos para el desarrollo de productos que sean amigables con el medio ambiente. Los biofertilizantes a base de aminoácidos constituyen una importante fuente de elementos indispensables para el desarrollo de las plantas, y facilitan su asimilación en los tejidos vegetales [Pupiales, et al., 2009]. Estas acciones incluyen la estimulación de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, mejoras en la salud de la planta y en la calidad estructural del suelo, factores claves de su fertilidad [Salamanca, 2009].

Nutrir las plantas de forma equilibrada, sana, y eficiente es un desafío para la agricultura moderna. Claro que quienes practican la agricultura orgánica deben manejar diversas alternativas, que en lo posible deberán ser fáciles de hacer, rendidoras para el cultivo, económicas y armónicas con toda la vida del predio agrícola circundante. Prácticas como la utilización de biofertilizantes constituyen una oportunidad para desarrollar y expandir el potencial productivo de los suelos y brindar una elevada calidad nutricional a los alimentos, sin agredir al medio ambiente. Se pueden producir esos biofertilizantes con elementos que existen en el medio de quien esté cultivando [Decara, et al., 2004]. Los cultivos más utilizados como abono verde son las leguminosas por su capacidad para fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico [Wong y Jiménez, 2009].

En el ámbito agrícola la principal forma de reciclar en la producción orgánica, la constituye la reutilización de los residuos de origen vegetal y animal en la elaboración de compost y producción de humus de lombriz. En ambas actividades, a partir de materiales de desecho se obtienen enmiendas que al ser aplicadas al suelo permiten elevar integralmente su calidad: tanto la disponibilidad de nutrientes para las plantas, como también la estructura del suelo y su actividad biológica [Sueiro, et al., 2011].

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ha realizado estudios en el área de la fertilidad de los suelos venezolanos, para incrementar su productividad en las últimas cinco décadas. Esas líneas de investigación contribuyen con el Modelo Agrario Socialista, respondiendo a las necesidades de la población para una alimentación suficiente, sana y oportuna, también con una agricultura agroecológica que beneficie la sustentabilidad de los agroecosistemas, así como la seguridad y soberanía alimentarias [Abreu y Ferreira, 2011].

Se conoce que la agricultura orgánica debe sostener y promover la salud del suelo, planta, animal, persona y planeta como una unidad indivisible, ya que la salud de los individuos y las comunidades no puede ser separada de la salud de los ecosistemas [Sueiro, et al., 2011]. Por ello se plantea como objetivo del trabajo realizar una revisión descriptiva y exploratoria de la literatura, que permita describir el uso actual de abono orgánico en los cultivos que se desarrollan en Venezuela, en especial de los biofertilizantes y la obtención de los fertilizantes orgánicos.

## **Desarrollo Abono orgánico**

En las zonas de cultivos donde la fertilidad ha disminuido, por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, o el agotamiento de los nutrientes del suelo, además de la práctica de monocultivos, se hace necesario el uso

de abonos orgánicos que son amigables con el ambiente, y al mismo tiempo le aportan los nutrientes necesarios al suelo. El uso de abono orgánico puede ser de manera indirecta, cuando se aplica al suelo un material que estimula el crecimiento de las plantas colateralmente, debido a que mejora las propiedades físicas del suelo. Por otro lado, un material se considera como fertilizante cuando estimula el crecimiento de manera directa, aportando nutrientes indispensables para las plantas [Quiroz, et al., 2011]. Si bien es cierto que el abono orgánico está compuesto de materia orgánica, la fuente original de estos son los restos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana [Medina, et al., 2011].

El humus es una materia orgánica en descomposición que se encuentra en el suelo y procede de restos vegetales y animales muertos. Su composición química varía porque depende de la acción de organismos vivos del suelo, como bacterias, protozoos, hongos, lombrices y ciertos tipos de escarabajos. Cuando se transforman en humus, los residuos vegetales se convierten en formas estables que se almacenan en el suelo y pueden ser utilizados como alimento por las plantas. La cantidad de humus determina la fertilidad de los suelo [Decara, et al., 2004].

Cuando se habla de compost, se hace referencia al abono orgánico equilibrado en nutrientes y con buenas propiedades físicas, químicas y biológicas. Este es el resultado de la descomposición de residuos orgánicos en presencia de aire (fermentación aeróbica/ respiración oxidativa) [Decara, et al., 2004]. Se puede definir el compost como el producto resultante de la fermentación de residuos vegetales y animales, que se mezclan en proporciones adecuadas para lograr un producto final, que al ser aplicado al suelo incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas e incrementa la estructura y la actividad de los organismos del suelo.

La producción de compost, además, permite reciclar los residuos orgánicos, vegetales y animales que se generan, reduciendo la contaminación ambiental [Sueiro, et al., 2011]. Se utiliza el té de compostas, un extracto acuoso de compost, en el cual este es el principal ingrediente para dicha solución; sin embargo, algunos tés son simples extractos de plantas [Salas, 2011]. Por otra parte el humus de lombriz se obtiene luego de un proceso, en el que la lombriz recicla a través de su tracto intestinal la materia orgánica. Cuando la cosecha del lecho es prematura, se obtendrá vermicompost o *worm castings*, que todavía no es humus. El humus de lombriz además de ser un excelente fertilizante, es un mejorador de las características físico-químicas del suelo, adicionalmente su acción combinada, permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición. Se puede decir que es un fertilizante bioorgánico activo, genera en el

terreno una acción biodinámica y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos [Chiriboga, 2010].

Además se tiene también el purín, que es un fertilizante u abono líquido proveniente de las excretas (estiércol y/u orina) frescas de animales. Otro de los abonos es el extracto de estiércol, conocido como el té de bosta, en el que no se toma en cuenta el oxígeno ni la fermentación, es decir, que básicamente es bosta puesta en medio líquido para su disolución. Vale destacar que de igual modo fermenta y que si se hace con estiércol fresco (puede hacerse con bosta ya descompuesta o seca) deben transcurrir 30 días para la seguridad sanitaria de su uso; representa una de las técnicas más viejas que se ha utilizado en los cultivos.

También se habla de microorganismos efectivos (ME o EM) que son una combinación de varios microorganismos beneficiosos de origen natural [Decara, et al., 2004]. En cuanto a los abonos verdes, son una masa vegetal fresca que se incorpora al suelo para el incremento de su materia orgánica y de nutrientes. Por su parte la turba se forma como resultado de la incompleta descomposición de la vegetación, en condiciones de excesiva humedad y deficiencia de aire [Monar, 2009].

### **Biofertilizante**

Un biofertilizante es un producto biológico a base de microorganismos (hongos micorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, principalmente), cuya actividad fisiológica permite promover el crecimiento de las plantas, con lo cual es posible sustituir o al menos reducir el uso de agroquímicos, así como la contaminación generada por los mismos, cuando el inóculo se aplica en partes específicas de la planta (semilla, tallo, hoja, raíz) o en el agua de riego [Franco, 2009] Al inicio del pasado siglo se retomaron los estudios de los microorganismos que se asocian a las raíces de los vegetales.

El desarrollo de esas prácticas creó el concepto de «Biofertilización», que es «la manera de suministrar a las plantas algún nutriente que ellas necesitan para su crecimiento, mediante un proceso biológico en el que intervienen diferentes microorganismos» [Matheus, 2007] Este biofertilizante ya sea sólido o líquido no tiene mal olor ni bacterias patógenas a diferencia del estiércol fresco, y puede ser aplicado directamente en el campo en forma líquida [Albuja, et al., 2011]. A su vez también se le llama biofertilizante al residuo líquido y/o sólido que se obtiene de un biodigestor.

## **Materia prima para la obtención de un biofertilizante**

La materia orgánica tiene funciones muy importantes en el suelo, y en general en el desarrollo de una agricultura acorde con las necesidades de preservar el medio ambiente y a la vez, ser más productiva [García, 2010]. El sustrato es la biomasa o material orgánico con la que se alimenta a un digestor para su descomposición bien sea anaeróbica o aeróbica; es por ello que existe una gran cantidad y variedad de sustratos animales y vegetales que son posibles de emplear, pero para que esta tecnología sea realmente barata y una excelente fuente de energía, normalmente se usan los desechos orgánicos. Entre los desechos orgánicos más comunes se encuentran los desechos de animales (estiércol). El desecho vegetal por otro lado tiene la desventaja de no poseer estas bacterias desde el inicio y su descomposición es mucho más lenta y difícil. Es por ello que por lo general se mezcla el desecho vegetal en 25% con el desecho animal en 75% [Albuja, et al., 2011].

La calidad del sustrato es un factor que tiene una importante influencia en la calidad del biofertilizante, ya que depende de la cantidad de grasas, proteínas, hidratos de carbono y nutrientes que tenga la biomasa. En el interior del biodigestor se encuentran bacterias que requieren de todos los nutrientes y grasas que les puede proveer la biomasa para su crecimiento y desarrollo, con el objetivo de degradar el sustrato para obtener una buena producción de biogás, así como también de biofertilizante.

Por otro lado, no es factible alimentar al biodigestor con sustrato podrido o fermentado, ya que este se incorpora al sistema con pH inferior al de operación, y como consecuencia puede inhibir el proceso o hasta llegar a colapsar la digestión. Adicionalmente, el tipo y la mezcla de sustrato suministrado no deben cambiarse de forma brusca porque puede alterar la estabilidad del proceso en especial si es anaeróbico, y además se corre el riesgo de inhibición de bacterias. Es por ello que en estos casos se recomienda que el cambio de sustrato se realice de forma paulatina y en un período de varios días para que las bacterias se adapten poco a poco al nuevo sustrato [Albuja, et al., 2011].

El uso del estiércol animal como fertilizante minimiza los costos a los productores agrícolas y permite remediar problemas de fertilidad del suelo, mejorando su capacidad de retención de agua, lo que favorece el desarrollo de las plantas y la obtención de una mayor capacidad productiva, entre otros beneficios. Su contenido de bacterias y hongos es determinante en la valoración de la calidad. Se han realizado estudios para conocer qué estiércol es recomendable utilizar como materia prima en la obtención de biofertilizantes, obteniéndose como resultado que el estiércol proveniente del ganado vacuno, aunque muestra una menor condición como fertilizante,

es el que presenta la posibilidad de menor riesgo desde el punto de vista de la salud pública.

Por el contrario, el estiércol de cerdo y aves se presentan con un alto potencial de riesgo para la salud por relacionarse con altas cargas de microorganismos fecales, lo que pudiera incrementar la incidencia de patógenos en el suelo [Céspedes, 2009].

En este sentido cuando se utiliza estiércol de animales se deben tomar en cuenta las normas de bioseguridad, para la manipulación y uso de los abonos obtenidos. Cuando se realizó la caracterización física, química y microbiológica de un bioestimulante líquido de tipo biol, obtenido a partir de rumen, suero de vaca, melaza, humus sólido, agua y materia vegetal como mata de ratón, se obtuvo que el tiempo estimado para la utilización óptima es de 6 semanas, cumpliendo con las normas de bioseguridad [López, et al., 2010] Adicionalmente, estudios con excreta líquida de cerdo comprobaron que luego de 50 días de maduración se llegó a tener 0 UFC coliformes, partiendo de  $9 \times 10^{11}$  UFC coliforme  $\text{mL}^{-1}$  de muestra que se tenían en la materia prima [Zúñiga, 2003].

Además de los desechos de animales se suele utilizar también materia vegetal, pero hay que tener en cuenta el tipo de materia que se añade debido a que estudios realizados demuestran que los desechos de fruta con alto contenido de fibra no son apropiados para el proceso de biodigestión, ya que los mismos se enredan entre sí, ocasionando que se separen las fases sólida y líquida de la mezcla reactiva; además, las fibras no permiten la agitación cuando se tienen reactores *batch*, y en los reactores semicontinuos tampoco son utilizables ya que los mismos taponan las mangueras de alimentación de estos. [Figueroa y Cueto, 2003].

### **Proceso anaeróbico o aeróbico**

El biofertilizante es un producto de la digestión de materia orgánica, es decir, un proceso de fermentación en el cual se digiere la materia orgánica y en el cual intervienen los microorganismos. Lo que se ve y asocia con la fermentación cuando se prepara un biofertilizante es la espuma que se forma en la superficie [Decara, et al., 2004]. La fermentación puede ser anaeróbica o aeróbica. Cuando ocurre la fermentación sin presencia de oxígeno se llama anaeróbica, la cual se origina a partir de la intensa actividad de los microorganismos que transforman los materiales orgánicos y producen vitaminas, ácidos y minerales complejos, indispensables para el metabolismo y perfecto equilibrio nutricional de la planta [López, 2003].

En el caso de la fermentación aeróbica, esta se desarrolla con la presencia de oxígeno. Los fermentados aeróbicos son abonos orgánicos líquidos y

sólidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de estiércol fresco que puede estar disuelto en agua [García, 2010]. El biofertilizante aerobio libera mayor energía en su proceso, debido a que al haber más oxígeno aumenta la actividad y población microbianas y los gases se escapan. Es por ello que durante la fertilización aeróbica se debe voltear el biofertilizante lo más seguido posible para mantener activa la fermentación, y para que esta sea homogénea, lo que es fundamental en la calidad del preparado [Decara, et al., 2004].

En el caso del biofertilizante anaerobio, este debe ser preparado sin oxígeno, tal como se mencionó anteriormente. En este proceso se produce abundante mezcla de gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , trazas de otros gases), como producto de las reacciones que ocurren. A esta mezcla de gases se le conoce como biogás y constituye una fuente renovable de energía con un amplio uso tanto doméstico como industrial. Expertos consideran que el proceso anaeróbico es muy eficiente si se usan el biogás y sus efluentes líquidos y sólidos, ya que no se estarían perdiendo nutrientes y se estaría utilizando toda la energía. En principio el material derivado contiene los nutrientes en forma más bioasimilable por las plantas que el aerobio [Decara, et al., 2004].

Muchos investigadores han realizado estudios para la obtención de fertilizantes a través de procesos anaeróbicos o aeróbicos. Entre esos estudios se puede encontrar la obtención de un biofertilizante a base de aminoácidos provenientes de la hidrólisis de la proteína que posee la *Spirulina platensis*, donde se empleó una digestión anaerobia controlando el proceso hacia la fase hidrolítica. En este estudio se probaron diferentes tipos de inóculos como estiércol vacuno, aguas residuales y cultivos de ácido láctico, con diferentes concentraciones de spirulina para obtener la mejor relación inóculo/sustrato. Con una concentración de 60 g/L de spirulina, al cabo de 8 días y gracias a la acción de las enzimas provenientes del metabolismo bacteriano, se obtuvo un producto con una concentración de aminoácidos libres de 3,23 g/L. Por su alto contenido proteínico, la *Spirulina platensis* es un microorganismo apto para la elaboración de un biofertilizante a base de aminoácidos libres. En este estudio la digestión anaerobia en fase hidrolítica, representó un método más económico para la elaboración de biofertilizante a partir de ese microorganismo [Pupiales, et al., 2009].

De igual manera, en otra investigación se alimentaron los biodigestores con una combinación de agua residual y lirios acuáticos (*Eichhornia crassipes*) previamente triturados y desecados, que se agregaron a razón de 200 g por cada 7,5 L del agua residual. Se constató que el proceso de biodigestión aumentó el contenido de nutrientes y se observó una disminución en el recuento de coliformes fecales, pero no se alcanzó la concentración

bacteriana mínima para garantizar una aplicación inocua a los cultivos de consumo directo.

El biofertilizante obtenido al aplicarlo diluido a 50% fue más efectivo que a 100%. Se conoce que cuando el tiempo de retención es corto se produce mayor cantidad de biogás, pero el efluente es de baja calidad como fertilizante por haber sido parcialmente digerido [Vázquez Vázquez, 2003].

Una de las razones por las que un biofertilizante es adecuado para nutrir el suelo es la carga microbiana que este pueda tener. Se han realizado estudios sobre el aislamiento de bacterias necesarias en los suelos para que la nitrificación y la fijación de nutrientes aumente, lo que comúnmente se denomina como biofertilizantes formulados. Un ejemplo de esto se refleja en la evaluación de las bacterias en suelo y en rizosfera de banano, aisladas e inoculadas en acarreadores como suelo, gallinaza (estiércol de aves) y pinzote (raquis central del racimo del banano). En dicho estudio se determinó la densidad de bacterias de los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum* a través del tiempo, así como los contenidos de nitrógeno en los sustratos inoculados. Los resultados obtenidos demostraron el efecto de los sustratos utilizados como acarreadores de *Azospirillum* para la formulación de biofertilizantes; por ejemplo, el pinzote únicamente con consorcio de *Azospirillum* favoreció la densidad de *Azospirillum* el día 60 después de la inoculación. El caso de la mezcla, gallinaza y pinzote como acarreadores de bacterias reguladoras del crecimiento de plantas, presenta la ventaja de contener reserva de carbón orgánico y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en el biofertilizante, lo que le aporta un valor agregado al producto [Vázquez Alvarado, 2003].

### **Utilización de fertilizantes orgánicos en cultivos**

En la última década son numerosos los estudios realizados sobre la utilización de fertilizantes orgánicos en los cultivos. Existen estudios para la determinación de los efectos generados por fertilizantes orgánicos líquidos, los cuales promueven el equilibrio nutricional del suelo, aumentan su fertilidad, estimulan a los microorganismos beneficiosos del suelo, que son ricos en minerales, aminoácidos y hormonas. Todo esto influye directamente en el crecimiento de las plantas. Un gran efecto que se ha encontrado es el balance nutricional que este tipo de fertilizante le confiere a las plantas debido a su origen orgánico, haciendo que sea mucho más resistente al ataque de plagas y enfermedades originadas por el desequilibrio ambiental [Albuja, et al., 2011].

La aplicación de biofertilizantes aumenta el número y la diversidad microbiana.

Al aumentar los microorganismos del suelo se aceleran los procesos microbianos. De esta forma, aumentan las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas y se aceleran los procesos de desarrollo con el incremento del rendimiento, sin grandes insumos externos. El uso de estos biopreparados origina procesos rápidos de fertilización, consumiendo escasa energía no renovable y sin daños al medio ambiente. Además, ya sea que los procesos se realicen en la raíz o bien en la hoja (fertilización foliar), las plantas se benefician en un plazo muy breve [Decara, et al., 2004]. El uso de estos fertilizantes debe ser de manera correcta debido a que si los mismos presentan inestabilidad, ello puede ser perjudicial para el cultivo dada la probabilidad de tener alta relación C: N, valores de pH extremos o altos contenidos de sales [Sueiro, et al., 2011].

Es importante resaltar que el estiércol y otros abonos orgánicos no son fórmulas nutricionales fijas ni balanceadas, por lo que es importante realizar análisis de laboratorio y conocer la aportación de nutrientes. Con fines de estimar la aportación de N-P-K disponible en el estiércol y disminuir la aplicación de fertilizantes químicos, se requiere al menos de analizar: nitrógeno total, fósforo, potasio y contenido de humedad (o de materia seca), información que permite estimar dosis de aplicación sin provocar excesos de algún nutriente en particular [Loredo, et al., 2009].

Pueden destacarse otras ventajas del uso de biofertilizantes, tales como: funciona como un corrector de acidez, eliminando tóxicos y liberando el fósforo de sus sales insolubles. Con la elevación del pH se dificulta el desarrollo de hongos patógenos; su poder de fijación es tan grande que evita la solubilidad y lixiviación excesiva de sales; mejora la estructura del suelo, facilitando la penetración de raíces. La intensa actividad bacteriana fija el nitrógeno atmosférico transformándolo en sales aprovechables, y facilita la multiplicación de bacterias radiculares que se fijan en las raíces de las plantas, mejorando su desenvolvimiento [Ferlini, et al., 2005]. Son muchos los tipos de cultivos en los cuales se ha probado el uso de biofertilizantes: en maíz, frijol, mora dulce, juca, entre otros. A continuación se hace referencia a varios estudios en los que su objetivo principal era la evaluación de abonos orgánicos en cierto tipo de suelos.

Estudios de cultivos en Costa Rica demostraron el mejoramiento de las propiedades químicas de los suelos producto de la aplicación de los abonos orgánicos, principalmente el compost aplicado a cultivos de mora dulce, favoreciendo su rendimiento. Los abonos orgánicos aplicados, compost y lombricompost, en los dos agroecosistemas incrementaron el pH y el porcentaje de microorganismos, contribuyendo con la disponibilidad de Ca, Mg, K, N y P [Fenech, 2009].

En Ecuador se consideró como una alternativa viable la utilización de fuentes orgánicas para la elaboración de biofertilizantes líquidos a base de estiércol vacuno y caprino, para ser aplicados en fase de vivero a algarrobo (*Prosopis juliflora*). Se realizó un análisis físico-químico a los dos meses, detectándose 1,5% de N para el biofertilizante de estiércol caprino y 0,2% de N para el biofertilizante de estiércol vacuno. Los valores de pH para los dos biofertilizantes fueron de 6,2 (chivo) y 4,2 (vaca), los cuales se encuentran por debajo del rango óptimo del pH (6,6) necesario para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión. El mejor resultado fue donde se aplicó biofertilizante obtenido a partir de estiércol caprino a 30%, seguido del estiércol vacuno a 10% [Espinoza, 2009].

En Cuba, según estudios realizados con la aplicación del biofertilizante micorrízico EcoMic®, vía recubrimiento localizado en las puntas de las semillas, con dosis de 10 a 13 kg.ha<sup>-1</sup> fue dependiente de la densidad de plantación. Los resultados de estas campañas de extensiones demostraron consistentes beneficios sobre el rendimiento y por tanto la factibilidad de la inoculación de la yuca con el biofertilizante EcoMic® a escala productiva. La aplicación del EcoMic® en el cultivo de la yuca, vía recubrimiento de las puntas de las estacas, originó siempre mejoras significativas sobre el rendimiento con un incremento promedio de 4,77 t.ha<sup>-1</sup>, que se corresponden con un incremento relativo de 32,6% [Soria, 2001].

El *nogal pecanero* es la especie hortofrutícola de mayor rentabilidad en los estados del norte de México. Este cultivo requiere altas aplicaciones de fertilizantes químicos, especialmente los nitrogenados. Se desarrolló una investigación para evaluar el resultado del incremento de la dosis de compost sobre el rendimiento de nuez, su efecto en la concentración de nitrógeno y la materia orgánica en el suelo, así como en la absorción foliar de nutrientes. La aplicación de compost devino aumento del rendimiento y la calidad de la nuez con respecto al testigo, así como de las concentraciones de materia orgánica y nitrógeno inorgánico en el suelo. La concentración foliar de nutrientes en los tratamientos evaluados se mantuvieron dentro de los rangos de suficiencia nutricional [Faith y Rivas, 2012].

También se ha estudiado la aplicación de biosólidos en suelos cultivables, en los que se observó el incremento de la materia orgánica en el estrato superficial. Los biosólidos incrementaron la concentración de nitratos y fósforo aprovechable en el suelo hasta una profundidad de 35 cm; por su parte, el potasio no aumentó significativamente. La aplicación de biosólidos incrementó la concentración de micronutrientes en todo el perfil de suelo; el orden de acumulación en el suelo con biosólidos fue Zn > Fe > Mn > Cu. El uso de biosólidos en suelos agrícolas, forestales y pastizales puede ser una alternativa de disposición final, además de una opción para aportar

nutrientes a los cultivos, lo que permitiría reducir costos de producción [Figuroa, 2009].

### **Usos de abonos orgánicos en Venezuela**

En Venezuela también se han realizado estudios con respecto al uso de fertilizantes orgánicos en cultivos. En la actualidad se cuenta con un programa de investigación del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras del Gobierno Bolivariano. Un ejemplo de esto lo constituye la investigación donde se evaluó la aplicación de tres tipos de enmienda: gallinaza (EG), estiércol de caprino (EC) y vermicompost (VC), en dosis equivalentes a 15 Mgr.ha<sup>-1</sup>. La mejor repuesta se produjo cuando se aplicó gallinaza, seguida del estiércol caprino y el vermicompost. Con relación a los contenidos de carbono orgánico y nutrientes, los resultados permiten indicar que la calidad de las enmiendas sigue el orden siguiente: EG > EC > VC. No obstante, desde el punto de vista de la incorporación de materiales con una materia orgánica similar a la contenida en el suelo, el VC reflejó un mayor grado de madurez al ser el más humidificado y estable. El EC ocupó una posición intermedia y el EG resultó ser el menos humidificado [Orozco y Muñoz, 2012]. Estudios similares se ejecutaron con la finalidad de reducir el uso de agroquímicos en la producción de café, donde se evaluó el efecto de tres abonos orgánicos comerciales: Fertipollo®, Biofertilizante

La Pastora®, y Humus CB en un suelo cafetalero del Estado Lara. En dicho estudio se analizaron parámetros físicos e índice de humidificación a los abonos orgánicos; se evaluaron las propiedades físicas y químicas del suelo, y se midió el rendimiento del cultivo. La incorporación de los tres abonos orgánicos mejoró los niveles de P, K y Ca en el suelo, y disminuyeron las concentraciones del Al logrando un incremento en el rendimiento del cultivo café, con una mejor respuesta en el segundo año [Rivera, 2012].

La producción de biofertilizantes a base de bacterias se ha venido desarrollando en el INSAI e INIA con el empleo de medios de cultivos específicos para la bacteria que se desea multiplicar. En este sentido, actualmente se producen cuatro líneas de biofertilizantes a base de bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, y *Bacillus megatherium*, es decir, biofertilizantes individuales. En experimentos de invernadero se evaluó el efecto de cepas nativas fijadoras de N<sub>2</sub> (FN) de forma asociativa y solubilizadora de fósforo (SF) sobre el crecimiento de maíz. La dosis de biofertilizante (mL/lote) fue de 50 de FN y 50 de SF. Las cepas SF presentaron mayor potencial en el suelo de menor

disponibilidad de este elemento, siendo una alternativa técnica, ecológica y económica viable.

La cepa FN de forma asociativa logró un mejor comportamiento y efecto en el suelo de mayor disponibilidad de P, lo cual demuestra la necesidad de definir contenidos mínimos de P en el suelo para contribuir a la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) en suelos de muy baja fertilidad [López, et al., 2008]. En estudios similares se evaluó la calidad de un biofertilizante mixto a base de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno de vida libre (FNVL), desarrollado en el Laboratorio Comunal de Producción de Biofertilizantes Bolívar Conservacionista del INSAI-Guárico. En dicho estudio se evaluó el consorcio con cepas nativas de *Azotobacter* y *Bacillus megatherium*. Los resultados obtenidos arrojaron concentraciones UFC/mL significativas en la dilución 10<sup>-7</sup> del biopreparado denominado Mezcla (mixto), tomando como referencia que son significativas las UFC/mL entre 100 y 300 colonias por repetición. Sin embargo, tanto el valor promedio de pH 5.4 y la densidad óptica (DO) 2,4358 del Biopreparado en la mezcla se aproximaron al pH 5,66 y la DO 3,0662 del *Azotobacter* (FNVL). Cabe destacar que el coeficiente de variación para los valores de pH indica que hubo mayor homogeneidad de los mismos en comparación con el coeficiente de variación de la DO [Delgado, 2009].

### **Fertilizante orgánico vs. fertilizante químico**

Desde la aparición de los fertilizantes químicos su uso fue incrementándose, sin tener en cuenta las consecuencias que ello traería consigo. En la actualidad se confronta un problema ambiental debido al grado de infertilidad que presentan los suelos por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y el agotamiento de los nutrientes. Por esta razón cientos de investigaciones buscan comparar el uso de fertilizantes orgánicos frente a fertilizantes químicos, con la finalidad de reducir el uso de estos últimos. Los resultados de uno de los estudios realizados mostraron que el tratamiento con fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos de fique + estiércol vacuno + melaza + urea igualó a los tratamientos con urea en las variables altura, número de vainas por planta, granos por vaina y en rendimiento [Rodríguez y López, 2009].

En México, en el periodo del 2001 al 2003 se evaluaron tratamientos con estiércol, fertilizante químico y la combinación de estiércol o compost + fertilizante, obteniéndose como resultado que es posible sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico por estiércol o compost, en el cultivo de maíz forrajero, y obtener igual o mayor rendimiento [López, 2008]. En el Estado Yucatán se determinó el comportamiento de los biofertilizantes en la producción de maíz en condiciones de temporal en el sistema roza, tumba y

quema (agricultura migratoria), en donde la altura de planta presentó un comportamiento similar a cuando se aplicaron fertilizantes químicos. Situación semejante se presentó con los días a flor masculina, con los tratamientos *Azospirillum*, *Azospirillum* + *Micorriza*, *Micorriza* + *Brassinoesteroide* y *Azospirillum* + *Micorriza* + *Brassinoesteroide*. Los rendimientos más altos y estadísticamente diferentes se obtuvieron con dicho uso, que superaron al tratamiento de fertilización química en 4,8, 6,5 y 5,3% y al testigo absoluto en 27,9, 28,5 y 29,9%, respectivamente, en la variable respuesta rendimiento [Figueroa, 2010].

Se realizó un estudio para determinar la producción de forraje de alfalfa y las propiedades químicas del suelo como respuesta a la aplicación de fertilizante orgánico (28 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol ovino), inorgánico (0,434 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) y su combinación (14 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol ovino y 0,217 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple), La relación de los kilogramos de materia seca producidos por kilogramo de fósforo aplicado fue de 144% para el fertilizante orgánico, 146% para el inorgánico y 163% para el combinado. El pH y el P se incrementaron en 1,1 unidades (de 5,6 a 6,7) y 28 mg L<sup>-1</sup> (de 70 a 98) para el fertilizante orgánico, y en 0,8 unidades (de 5,6 a 6,4) y 20 mg L<sup>-1</sup> (de 70 a 90) para el combinado. Concluyendo que la aplicación combinada de los fertilizantes, favoreció una mayor producción de forraje de alfalfa y una mejora en las propiedades químicas del suelo en un año de experimentación [Uribe, et al., 2007]. El uso de estiércol tiene muchos beneficios evidentes. Sin embargo, se debe acompañar con un adecuado manejo del riego, principalmente en sistemas presurizados, para un adecuado lavado del suelo y evitar la acumulación de sales y con ello aprovechar al máximo el estiércol [Flores, 2012].

En Venezuela se estudiaron tres productos fertilizantes orgánicos: compost elaborado por biodegradación aeróbica con desechos sólidos de la industria azucarera (Biofertilizante La Pastora), estiércol de gallina procesado (Fertiagro) y un vermicompost. El fertiagro inicialmente tuvo un efecto tóxico que generó plantas de poco crecimiento como consecuencia de la alta concentración de sales solubles por la aplicación de una dosis elevada. La mejor respuesta en producción de biomasa correspondió a los tratamientos con fertiagro, la mezcla fertiagro + químico y biofertilizante con diferencias estadísticas (P≤0,001). A los 63 días el rendimiento relativo en peso seco (E.A.R.) de los tratamientos con los abonos orgánicos, solos o mezclados con químicos, con excepción de vermicompost y la mezcla vermicompost + químico, superaron ampliamente al tratamiento con fertilizante químico de referencia, lo que indica claramente el efecto residual de los abonos orgánicos. Los resultados obtenidos mostraron una rápida respuesta (fase inicial) en el tratamiento con fertilización química, mientras que los

tratamientos con productos orgánicos alcanzaron su mayor efecto en el tercer ciclo (63 días).

La causa fundamental radica en que los abonos orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación que aportan sus nutrientes a través del tiempo, evidenciándose su acción residual [Equipo..., 2008]. Por otra parte, se evaluó agronómicamente el biofertilizante La Pastora, un compost con desechos sólidos de la industria azucarera como alternativa para restaurar la fertilidad de un suelo degradado y suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz. Para ello se realizó una comparación entre un fertilizante químico convencional, el biofertilizante y una mezcla de ambos. Los mayores rendimientos en el grano se obtuvieron con la mezcla realizada entre el biofertilizante y el fertilizante químico [Fortis, 2009].

Los expertos coinciden en que el uso de fertilizantes orgánicos por períodos largos de tiempo provoca un efecto residual del mismo. Se han realizado estudios para evaluar el efecto residual de seis años de aplicación continua de estiércol bovino en el rendimiento de maíz forrajero y en las características de fertilidad del suelo. Los tratamientos, establecidos desde 1998, después de seis años de incorporar estiércol bovino, en sus valores iniciales indicaron que con 100 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol la materia orgánica (MO) incrementó 2,11%, la concentración de NO<sub>3</sub> en 44,5 mg kg<sup>-1</sup> y la conductividad eléctrica (CE) en 2,71 dS m<sup>-1</sup>. Las concentraciones más altas de microorganismos (hasta 3%) se registraron en los primeros 15 cm de profundidad en los tratamientos con estiércol. El tratamiento con 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol mostró el mayor contenido de NO<sub>3</sub> en el suelo (75,5 mg kg<sup>-1</sup>; capa de 0-15 cm), así como la mayor CE con valores superiores a 4 dS m<sup>-1</sup>. El haber adicionado estiércol durante seis años consecutivos ocasionó que la CE rebasara los 4 dS m<sup>-1</sup>, valor considerado para suelos no salinos.

Al descansar el suelo al menos un ciclo después de seis años, se observa que estas concentraciones tienden a disminuir. Después de un período de seis años de aplicación continua de estiércol bovino, quedó suficiente nitrógeno residual para producir el siguiente ciclo agrícola sin necesidad de aplicar ningún fertilizante químico y sin que disminuyera la producción de forraje [Salazar, 2010].

## **Conclusiones**

La efectividad del proceso del abono depende de las condiciones del medio ambiente presentes dentro del sistema de abono o una combinación de sus diferentes tipos, es decir, oxígeno, temperatura, humedad, alteración del material, materia orgánica, tamaño y actividad de las poblaciones microbianas, y contenido de nutrientes. El abono obtenido por tratamientos

biológicos puede ser clasificado como un fertilizante orgánico 100% que contiene nutrientes primarios, así como rastros de minerales, humus y ácidos húmicos, en una forma de liberación lenta. El bioabono mejora la porosidad del suelo, el drenaje, la ventilación y la capacidad de mantener la humedad, reduce la compactación y además puede retener hasta diez veces su peso en agua [Salas, 2011].

El éxito de utilizar biofertilizantes se basa en las ventajas que presentan los mismos, las cuales se manifiestan por el aumento de la diversidad biológica, el mejoramiento de la estructura del suelo y la seguridad para quien los aplica, además de un mejoramiento en las condiciones económicas y sociales de la población [Espinoza, 2009]. Algunos investigadores están de acuerdo en cuanto a que el efecto del fertilizante orgánico depende del tipo de suelo y posiblemente la interacción de sus características con el tipo de residuo [Ribero, et al., 2006].

El compost mejora la vida en el suelo y sobre la superficie de las plantas [Salas, 2011]. El desarrollo ideal de los cultivos depende en gran medida de su contenido en humus [Decara, et al., 2004], que con la aplicación periódica de abono orgánico se incrementa su cantidad en los suelos cultivables debido al efecto residual, además de incrementar la biomasa microbiana, favoreciendo el desarrollo de las plantas [Rivera-Cruz, et al., 2011]. El uso de cepas nativas en determinados cultivos resulta de interés por cuanto incrementa notablemente el rendimiento de las plantas, así como provee a las plantaciones de mayor protección frente a plagas. Las ventajas de los biofertilizantes y su adecuada inserción en el ciclo de la agricultura favorecen su aplicación con respecto a los fertilizantes de origen químico.

Es necesario tener una conciencia ambientalista en la que la producción de alimentos se realice de manera amigable con el ambiente, lo que significa darle paso al Modelo Agrario Socialista en el que la producción de alimentos sanos, la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, y la salud ambiental y de la familia sean garantizadas junto a la seguridad y la soberanía alimentarias [Abreu y Ferreira, 2011]. Además, los resultados obtenidos de varias investigaciones muestran que los subproductos agrícolas pueden ser una alternativa de fertilización al utilizarlos como soportes orgánicos de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, debido a que mejoran la calidad del suelo y aumentan el crecimiento de la planta [Bizzozero, 2006].

## **Bibliografía**

ABREU M., Y. J. Y J. J. FERREIRA C. (2011). «Biofertilizante mixto a base de bacterias de vida libre fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo», en *Memoria XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, 2011.

ALBUJA Y., ROSA F.; PABLO A. ARAUJO G. Y ANDREA C. LÓPEZ K. (2011). «Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de *Spirulina platensis*, mediante degradación anaerobia». Departamento de Ciencias de la vida Ing. en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador: 2011. Pp. 1-20. Boletín Técnico.

BIZZOZERO, FEDERICO (2006). *Biofertilizantes, Nutriendo cultivos sanos*. Uruguay: Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas, 2006.

CÉSPEDES LEÓN, MARÍA CECILIA (2009). «Agricultura ecológica: principios y manejo sustentable del suelo», en *Memoria Científica Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica*, 2009.

CHIRIBOGA NOVILLO, OMAR GUILLERMO (2010). «Desarrollo del proceso de producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas». Universidad San Francisco de Quito. Quito: 2010. 105 pp. Tesis de Grado.

CONTRERAS, FROILÁN; J. PAOLINI Y CARMEN RIVERO (2004). «El uso de enmiendas orgánicas y su efecto sobre la actividad de deshidrogenasa y mineralización del carbono en suelos», en *Revista de la Facultad de Agronomía Universidad Central de Venezuela*, 30(95-107): 2004. ISSN 1856-5573.

DECARA, LORENA; GABRIELA SANDOVAL Y CLAUDIO FUNES (2004). «El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba». «Tecnologías que mejoren la actividad ganadera, favoreciendo el cuidado ambiental», en *27 Congreso Argentino de Producción Animal*, 2004.

DELGADO, RODOLFO (2009). «Acumulación de materia seca, N, P y K en frijol cultivado bajo labranza mínima y convencional en un mollisol de Venezuela», en *Agronomía Tropical*, 59(401-411): 2009. ISSN 0002-192X.

DÍAZ FRANCO, ARTURO Y NETZAHUALCÓYOTL MAYEKVPÉREZ (2008). *La biofertilización como tecnología sostenible*. México: Plaza y Valdés, S.A. de C.V., 2008. ISBN: 978-970-722-706-4.

Equipo Técnico PCAC (2008). *Preparando y usando biofertilizantes orgánicos. Serie: De Campesino a Campesino No. 5*. s.l. El Salvador: Confederación de Federaciones de la Reforma Agraria Salvadoreña CONFRAS DE R. L, abril de 2008.

ESPINOZA, YUSMARY (2009). «Efecto de la alimentación animal sobre la calidad microbiológica de estiércoles usados como fertilizantes», en *Zootecnia Tropical*, 27(151-161): 2009. ISSN 0798-7269.

FAITH VARGAS, MARGIE Y OLGA RIVAS SOLANO (2012). «Obtención de un mejorador de suelos como subproducto de la digestión anaerobia de desechos orgánicos en el TEC», en *Tecnología en Marcha*, 25(19-27): julio-septiembre, 2012. ISSN 0379-3962.

FENECH LARIOS, LIBORIO (2009). «Importancia de la materia orgánica del suelo en la agricultura ecológica», en *Memoria Científica Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica*, 2009. Pp. 159-178.

- FERLINI, HUGO A.; SHIRLEY C. DÍAZ Y CRISTIAN O. TRAUT (2005). «Beneficios del uso de inoculantes sobre la base de *Azospirillum brasilense* en cultivos extensivos de granos y forrajes», en *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad Nacional del Nordeste, Santa Fe, Argentina: 2005.
- FIGUEROA VIRAMONTES, URIEL (2009). «Uso de abonos orgánicos en la producción de cultivos», en *Memoria Científica Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica*, 2009. Pp. 236-250.
- FIGUEROA VIRAMONTES, URIEL (2010). «Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero», en *Terra Latinoamericana*, 28(361-369): octubre-diciembre, 2010. ISSN 1870-9982.
- FIGUEROA VIRAMONTES, URIEL Y J. ANTONIO CUETO WONG (2003). «Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos». [ed.] Enrique Salazar Sosa, et al., en *Abonos orgánicos y plasticultura*. México: 2003. Pp. 1-21.
- FLORES AGUILAR, JOSÉ DE JESÚS (2012). «Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo», en *Terra Latinoamericana*, 30(213-220): 2012. ISSN 1870-9982.
- FORTIS HERNÁNDEZ, MANUEL (2009). «Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo», en *Terra Latinoamericana*, 27(329-336): 2009. ISSN 1870-9982.
- FRANCO CORREA, MARCELA (2009). «Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización», en *Revista Peruana de Biología*, 16(239-242): 2009. ISSN 1727-9933.
- GARCÍA HERNÁNDEZ, JOSÉ LUIS (2010). «Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura», en *Terra Latinoamericana*, 28(391-399): octubre-diciembre, 2010. ISSN 1870-9982.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, JOSÉ DIMAS (2003). «Producción de compost». [ed.] Enrique SALAZAR SOSA, et al., en *Abonos orgánicos y plasticultura*. México: 2003. Pp. 63-85.
- LÓPEZ, MARISOL; R. MARTÍNEZ VIERA, M. BROSSARD FABRÉ, A. BOLÍVAR, N. ALFONSO, A. ALBA Y H. PEREIRA ABREO (2008). «Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos», en *Agronomía Tropical*, 58(391-401): 2008. ISSN 0002-192X.
- LÓPEZ, MARISOL; BELKYS RODRÍGUEZ Y MINGRELIA ESPAÑA (2010). «Tecnologías generadas por el inia para contribuir al manejo integral de la fertilidad del suelo», en *Agronomía Tropical*, 60(315-331): 2010. ISSN 0002-192X.
- LOREDO OSTI, CATARINA; SERGIO BELTRÁN LÓPEZ Y MARÍA DE LOS ÁNGELES PEÑA DEL RÍO (2009). «Importancia de las bacterias promotoras del

crecimiento vegetal en la producción de cultivos», en *Memoria Científica Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica*, 2009.

MATHEUS L., JESÚS (2007). «Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.)», en *Agricultura Andina*, 13(27-38): julio-diciembre, 2007.

MEDINA, SOL; MARISOL LÓPEZ Y JUAN VILORIA (2011). «Evaluación de la biofertilización en el cultivo maíz en un suelo del estado Guariacó». en *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, 2011.

MONAR CASTILLO, ULISES RIQUELME (2009). «Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves, Provincia de Bolívar. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción». Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador: 2009. 102 pp. Tesis de Grado.

OROZCO RODRÍGUEZ, RAFAEL Y RÓGER MUÑOZ HERNÁNDEZ (2012). «Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica», en *Tecnología en Marcha*, 25(16-31): enero-marzo, 2012. ISSN 0379-3962.

PUPIALES CRIOLLO, HEYDI ALEJANDRA; JORGE ALIRIO PUPIALES CRIOLLO Y AMANDA SILVA PARRA (2009). «Respuesta del frijol lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de abono orgánico a base de residuos sólidos de fique tambo, departamento de Nariño, Colombia», en *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(2256-2273): 2009.

QUIROZ, A., I. ARRIECHE Y M. JIMÉNEZ (2011). «Efecto de la fertilización orgánica en un suelo cafetalero de sanare. estado Lara», en *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, 2011.

RIVERA ESPINOSA, RAMÓN (2012). «La efectividad del biofertilizante Ecomic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensiones con productores», en *Cultivos Tropicales*, 33(5-10): enero-marzo, 2012. ISSN 0258-5936.

RIVERA-CRUZ, MARÍA DEL CARMEN; PABLO RIVÓN HERNÁNDEZ Y ANTONIO TRUJILLO NARCÍA (2011). «Soportes orgánicos de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y la sustentabilidad del suelo», en *Terra Latinoamericana*, 29(179-188): 2011. ISSN 1870-9982.

RIVERO, CARMEN; ALEXIS TORRES Y JESSICA AMPUEDA (2006). «Efecto del uso de residuos orgánicos y fertilización sobre el comportamiento del nitrógeno mineral en el suelo», en *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela*, 32(1-13): 2006. ISSN 1856-5573.

RODRÍGUEZ, BELKYS Y MARISOL LÓPEZ (2009). «Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de rhizobium aisladas de un ultisol de la altiplanicie del estado Guariacó», en *Agronomía Tropical*, 59(381-386): 2009. ISSN 0002-192X.

- SALAMANCA TAMAYO, JAIRO ANDRÉS (2009). «Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generación de biogás y fertilizante orgánico». Universidad San Francisco de Quito, Quito: 2009. Tesis de Grado.
- SALAS, ISABEL (2011). «Caracterización físico, química y microbiológica del bioestimulante líquido tipo biol». Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela: 2011. 134 pp. Tesis de Grado.
- SALAZAR SOSA, ENRIQUE (2010). «Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo», en *Terra Latinoamericana*, 28(381-390): 2010. ISSN 1870-9982.
- SORIA FREGOSO, MANUEL DE JESÚS (2001). «Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo», en *Terra Latinoamericana*, 19(353-362): 2001. ISSN 1870-9982.
- SUEIRO GARRA, ALEJANDRO; MIRIELA RODRÍGUEZ PEQUEÑO Y SOLANDE DE LA CRUZ MARTÍN (2011). «El uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol: una alternativa para la agricultura sostenible en Sagua la Grande», en *Observatorio de la Economía Latinoamericana* 159(1-25): 2011.
- URIBE V., GABRIEL; JUDITH PETIT Y ROBERTO DZIB E. (2007). «Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de biofertilizantes en el sistema roza, tumba y quema en sueloalfisol (*chac-lu'um*, nomenclatura maya), en Yucatán, México», en *Agricultura Andina*, 13(3-18): julio-diciembre, 2007.
- VÁZQUEZ ALVARADO, RIGOBERTO E. (2003). «Uso y manejo de estiércoles». [ed.] ENRIQUE SALAZAR SOSA, et al., en *Abonos orgánicos y plasticultura*. México: 2003. Pp. 86-109.
- VÁZQUEZ VÁZQUEZ, CIRILO (2003). «Introducción a la lombricultura». [ed.] Enrique Salazar Sosa, et al., en *Abonos orgánicos y plasticultura*. México: 2003. Pp. 43-62.
- WONG, M. Y E. JIMÉNEZ (2009). «Comparación del efecto de 2 biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y vacuno sobre parámetros de crecimiento de algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) en fase de vivero». Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador: 2009. Tesis de Grado.
- ZÚÑIGA TARANGO, RAFAEL (2003). «La materia orgánica en el suelo». [ed.] Enrique SALAZAR SOSA, et al., en *Abonos orgánicos y plasticultura*. México: 2003. Pp. 22-42.

**Eco Solar** es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

**DIRECTOR GENERAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

**DIRECTOR:**

M.Sc. Manuel Álvarez González.

**EDITOR JEFE:**

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

**EDITORA:**

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

**CORRECCIÓN:**

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

**DISEÑO ELECTRÓNICO:**

D.I. Antonio Romillo Polaino.

**WEB MASTER:**

M.Sc. Fernando González Prieto.

**CONSEJO ASESOR:**

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN  
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO  
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,  
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: [editora@cubasolar.cu](mailto:editora@cubasolar.cu)

<http://www.cubasolar.cu>