Aporte Santiaguino 8, 2015: 131-155
ISSN 2070-836X

Ingeniería conceptual, básica, de detalle y simulación para el sistema de aprovechamiento del alquitrán en el proceso de gasificación *up-draft* con capacidad de 50 kg/h utilizando los RSU para el iner

EDUARDO GUTIÉRREZ GUALOTUÑA[1], GABRIELA TORRES RODRÍGUEZ[1], RAÚL BALDEON LÓPEZ[1] Y DANIEL RIVADENEIRA RIVERA[1]

RESUMEN

Un gasificador es un dispositivo en el cual se produce un proceso termoquímico mediante la combustión de una determinada materia prima (Biomasa), se pasa a un proceso de pirólisis para así obtener gases con bajo poder calorífico; además de alquitranes y cenizas; asimismo el tipo de combustible que se consume dentro de este equipo es amplio y variado, por lo que se busca hacer énfasis en la utilización de residuos sólidos urbanos (RSU), ya que los RSU en los últimos tiempos se han vuelto un gran problema ambiental, porque así se lleve un proceso de relleno sanitario con normas ambientales, siempre existe contaminación de suelos y agua. Además, también es problema para la sociedad, ya que los botaderos de basura se llenan con rapidez, por lo que se busca obtener una solución para este problema que aqueja a las grandes ciudades de nuestro planeta. Al lograr introducir los RSU en el consumo de materia prima del gasificador se logrará obtener una producción de un gas de bajo poder calorífico que se puede utilizar en la producción de energía eléctrica, así como también la producción de alquitranes, los cuales tienen diferentes utilizaciones como sellantes para techos, en la pavimentación de carreteras e incluso en la industria de la medicina; igualmente se puede hacer uso de las cenizas para la fabricación de bloques de cenizas que se utilizarán en la construcción.

Palabras clave: gasificador; *updraft*; residuos sólidos urbanos; alquitrán; gasificación.

ABSTRACT

A gasifier is a device in which a thermochemical process is produced by combustion of a given raw material (biomass) is passed to a pyrolysis process to obtain gases with low calorific ashes besides tar and also the type of fuel is consumed within this team is wide and varied, so it seeks to emphasize the use of municipal solid waste (MSW) as MSW in recent times has become a major environmental problem because this process is carried sanitary landfills with environmental standards always exists contamination of soil and water well is also problem for society as garbage dumps fill up quickly and so it seeks a solution to this problem that is plaguing big cities our planet so to achieve introduce consumption MSW feedstock managed to get a gasifier producing a low calorific gas that can be used in electricity production as well as production of tars which They have different uses as sealants for roofing, paving

1 Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolguí, Ecuador.

of roads and even in the medical industry, as you can make use of ash for the manufacture of cinder blocks that can be used in construction.

Keywords: gasifier; updraft; solid waste; tar; gasification.

INTRODUCCIÓN

El diseño y simulación de un sistema de gasificación *up-draft* para el aprovechamiento del alquitrán, con capacidad de 50 kg/h utilizando residuos sólidos urbanos, tiene un planteamiento de análisis y estudio que comprende lo siguiente:

En el capítulo 1 se exponen los temas relacionados con el uso de este tipo de tecnologías de gasificación, considerando los antecedentes relacionados al proyecto, la definición del problema, los objetivos, la justificación e importancia del uso de las energías renovables.
El capítulo 2 muestra lo relacionado a las aplicaciones y utilización de RSU, al igual que lo referente al proceso de gasificación. También se indica las ventajas y desventajas de la utilización de la gasificación, las cuales pueden ser de carácter social, técnico y tecnológico; cuyos temas deben ser abordados, de manera especial por los expertos que realizan este tipo de implementaciones, tomando en cuenta que estas tecnologías deben ocasionar menor impacto al ambiente circundante. Además se explica un poco sobre el carácter ambiental haciendo énfasis en que la gasificación no es incineración.

En el capítulo 3 se expone la razón por la que se seleccionó el tipo de gasificador, la estequiometría de la reacción, el balance de masas para así obtener el balance de energía, de esta manera se saca un volumen con el cual se conseguirá un dimensionamiento para proceder al diseño mecánico y térmico del gasificador; además se realiza la selección de los equipos adyacentes entre los que tenemos una tolva, un tornillo sin fin de transporte, el gasificador en sí, un intercambiador de calor y finalmente un tanque separador.

El capítulo 4 se refiere a la simulación del proceso de gasificación en ANSYS para que nos permita ver el proceso de gasificación, lo más semejante al proceso real y así poder observar un perfil de temperaturas dentro del gasificador. Además de esto se realizó una simulación en DWSIM para tener un valor referencial de la producción de alquitranes basados en la producción de gases del gasificador.
Este proyecto concluye con el análisis económico financiero para identificar los recursos que se requiere para las etapas de: investigación de campo, bibliográfica, adquisición de materiales locales, importación de componentes, mano de obra, gastos de fabricación y montaje, siendo estos rubros definidos en los costos directos e indirectos con los cuales se establece el presupuesto de inversión requerido para la ejecución del proyecto. Para finalizar se explica las conclusiones, recomendaciones y propuestas de trabajo futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

2.1.1. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos son aquellos que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos que incluyen a todos los materiales sólidos desechados de actividades municipales, industriales o agrícolas, que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque no se van a utilizar.

Los residuos son un problema para las sociedades, sobre todo para las grandes ciudades ya que en estas es donde existe mayor producción de residuos, debido a la sobrepoblación y el consumismo que se ha incrementado en los últimos tiempos por las personas; esto junto con el ineficiente manejo que se hace con dichos residuos provoca grandes problemas tales como la contaminación, que resume problemas de salud y daño al ambiente.

Se hablará particularmente de los residuos sólidos urbanos que se clasifican de la siguiente manera: (Martínez Lemux, Carballo Abreu, & Arteaga Crespo, 2006):

Basura: desechos de alimentos putrescibles (biodegradables).

Desechos: residuos sólidos no putrescibles, que incluyen diversos materiales, pudiendo ser combustibles (papel, plástico, textiles, etc.) o no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc.).

Especiales: cascajo de las construcciones, las hojas de los árboles y basura callejera, automóviles abandonados y aparatos viejos.

2.2. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) A SER UTILIZADA

Se tomarán los datos de la investigación realizada por Poletto & Da Silva, 2009 para la Universidad Estatal Paulista, ya que el estudio en la ciudad de Bauru, Brasil es similar a los parámetros de RSU que se tiene en la ciudad de Quito debido a su composición, nivel económico de la población y población por metro cuadrado, por lo que los datos serán establecidos como referencia para obtener valores de diseño para el gasificador.

La composición del RSU es influenciada por varios factores: número de habitantes, poder adquisitivo, nivel educacional, hábitos y costumbres de la población, condiciones climáticas y estacionales, y cambios en la política económica de un país.

La determinación de la cantidad de RSU producidos en una ciudad y sus diversos componentes no es simple, depende de una serie de factores, que mantienen una relación directa con el número de habitantes. De acuerdo con los datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, 2000), la generación de RSU puede ser estimada de acuerdo a la población. En la Tabla 1 se encuentra la producción de RSU por persona basados en el número de habitantes de una determinada región brasileña.

Tabla 1. Índice de producción "per cápita" de RSU en función de la población

Población (hab.)	Producción de RSU (kg/hab.día)
Hasta 100.000	0,4
De 100.001 a 200.000	0,5
De 200.001 a 500.000	0.6
Más de 500.001	0.7

El análisis elemental del RSU implica la determinación del porcentaje de Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S), y cenizas. Tal análisis es importante debido tanto al aspecto energético, como a la preocupación por la emisión de compuestos clorados durante la incineración. Se encuentra una composición media, obtenida de datos americanos, pero que son utilizados en la mayoría de los trabajos sobre RSU (Tchobanoglous y Theisen, 1996).

Según Silva y Velo (1997), la composición típica aproximada a los RSU depositados en el vertedero sanitario de Bauru se describe en la tabla 2. Lo que se observa es que la mayor parte del RSU está constituida por el residuo de comida (55%) y papel / cartón (21%). El plástico es otro componente importante, pues, además de contribuir con 8,9% en masa también tiene un poder calorífico elevado. Para los finales del presente trabajo no se considera el porcentaje de vidrios y metales, pues éstos son inertes y no influyen en la estimación del poder calorífico del RSU. Esta hipótesis está incluida en la columna masa seca normalizada, donde el porcentual de masa seca es ponderada dejando de considerarse vidrios y metales.

Tabla 2. Composición de los RSU Domésticos- Inorgánicos Porcentaje en masa (% - Base seca) - Inorgánicos

Componentes	**C**	**H**	**O**	**N**	**S**	**Cenizas**
Vidrios	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
Metales	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Cenizas	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	68,0

Tabla 3. Composición Típica de los Residuos del Vertedero Sanitario de Bauru

Componente	Masa Húmeda (%)	Humedad (%)	Masa Seca (%)	Masa seca Normalizada (%)
Res. de Comida	55,0	70,0	16,50	32,77
Papel y Cartón	21,0	6,0	19,74	39,21
Textil y Cuero	5,0	10,0	4,50	8,94
Madera	1,1	20,0	0,88	1,75
Plástico	8,9	2,0	8,72	17,33
Vidrio	2,6	2,0	2,55	-
Metales	5,4	2,0	5,29	-
Otros	1,0	5,0	0,95	-

Fuente: (Poletto & Da Silva, 2009)

Se ha estimado el Poder Calorífico Inferior de los RSU generados en el municipio de Bauru, tomándose en consideración la segregación de papeles / cartón y plásticos. Obtenido este parámetro, es de interés realizar una estimación teórica aproximada de la cantidad de energía que podría ser obtenida diariamente en la combustión de los RSU del municipio de Bauru.

A partir de los datos de las tablas 2 y 3, se genera la tabla 4, que muestra el porcentaje de Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S), y cenizas en base húmeda para cada componente del RSU.

Tabla 4. Porcentaje de cada elemento de los componentes del RSU – base húmeda % en masa – Base Húmeda

Componente	C	H	O	N	S	Ceniza
Restos de comida	14,4	1,9	11,3	0,8	0,1	1,5
Papel	41,4	5,5	41,9	0,3	0,2	4,7
Plástico	58,8	7,1	22,3	-	-	9,8
Textiles / cuero	49,5	5,9	28,1	4,1	0,1	2,2
Goma	76,4	9,8	-	2	-	9,8
Madera	38,2	4,8	30,4	2,7	0,2	3,6

Fuente: (Poletto & Da Silva, 2009)

En la tabla 5 (Poletto, 2008) se muestra la contribución de cada componente del RSU para el PCI de un kilogramo de RSU, no considerando la segregación de materiales combustibles.

Tabla 5. Contribución de cada componente sin considerar la segregación

Componente	**Contribución**
Res. de Comida	738
Papel y Cartón	758
Textil y Cuero	237
Madera	38
Plástico	521
Total PCI (kcal/kg de RSU)	2.292

Fuente: (Poletto & Da Silva, 2009)

2.3. GASIFICACIÓN Y ALQUITRANES EN DICHO PROCESO

2.3.1. GASIFICADOR

El gasificador es esencialmente un reactor termo-químico donde tienen lugar varios procesos físicos y químicos complejos.

La biomasa es secada, calentada, pirolizada, parcialmente oxidada y reducida en este reactor cuando ella fluye a través de él.

Secado del combustible: en esta etapa la biomasa pierde agua transformándola en vapor de agua.

Pirólisis: es donde aparece el gas de síntesis y el alquitrán, ya que por ausencia de oxígeno se ven presentes el H2 y el CO en proporciones considerables que se pueden utilizar.

Combustión: en esta etapa la biomasa se consume en presencia de oxígeno permitiendo su incineración.

Reducción: aquí la biomasa es reducida, transformada en cenizas.

Figura 1. Proceso de gasificación

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

2.3.2. GAS DE SÍNTESIS

Es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono, sometidas a un proceso termo-químico a altas temperaturas. Se designa como gas de síntesis a una mezcla de gases en donde predomina CO y H2 en proporciones variables y que son adecuadas para síntesis especiales de productos químicos. (Weissermel & Arpe, 1981)

2.3.3. ALQUITRÁN

Los denominados alquitranes son, en realidad, una extensa familia de hidrocarburos de cadenas largas que comienzan con la serie del antraceno. Su presencia en los procesos de combustión, en particular en la gasificación es fundamental para el trabajo de un gasificador. Desde el punto de vista operacional el gran problema de estos compuestos es que a temperaturas de operación, siempre superiores a los 500ºC, los alquitranes se hallan en forma de vapor y por tanto su comportamiento es similar al de los gases; no obstante cuando debe procederse a su valorización luego de que el gas de síntesis se enfríe, los alquitranes se condensan. La concentración de alquitranes dentro de un gasificador va en función de la temperatura de gasificación, del tiempo de residencia, tipo de reactor utilizado, y de la sustancia que se gasifica. (Castells, 2005).

Tabla 6. Rango de temperaturas para formación de alquitranes

Temperatura (Rango °C)	Reacción Química
100-120	Deshidratación
250	Desoxigenación y desulfuración, disociación molecular de agua y dióxido de carbono. Comienza la liberación de sulfuro de Hidrógeno
340	Rotura de enlaces de compuestos alifáticos. Comienza la liberación de metano y otros compuestos alifáticos ligeros.
380	Rotura de enlaces C-O y C-N
400-600	Descomposición de los materiales bituminosos. Generación de aceites y alquitranes. Carbonización de baja temperatura.
600	Cracking de los materiales bituminosos. Generación de hidrocarburos gaseosos de cadena corta e hidrocarburos aromáticos (derivados del benceno).
>600	Dimerización de las olefinas (etileno) a α-butileno; reacción de etileno a ciclohexano; generación de compuestos aromáticos volátiles.

2.3.4. RECUPERACIÓN DE ALQUITRANES EN PEQUEÑA ESCALA

Se trata de alquitranes químicamente complejos, que son antisépticos útiles y agentes de preservación. El alquitrán de Estocolmo tiene empleo en la medicina veterinaria, en la construcción de embarcaciones y como pintura o pasta preservadora de la madera. En la actualidad, en el mundo desarrollado, una cantidad de otras substancias reemplazan la brea de Estocolmo, sin embargo, en el mundo en vía de desarrollo puede haber mercado para la brea de madera como pintura preservadora de la madera o como material para calefacción, y es también posible un cierto empleo como antiséptico. El alquitrán puede ser quemado como combustible, pero por lo general, es más razonable emplear la madera donde fuera posible y no merece el esfuerzo el recolectar la brea para simplemente quemarla, siendo más valiosa para otros usos. (FAO, 1993)

2.3.5. RECOLECCIÓN DEL ALQUITRÁN O BREA

Normalmente el alquitrán puede condensarse donde sea posible que los vapores, pasando por conductos metálicos, dan lugar a que el calor se disperse al aire, a través de las paredes metálicas del conducto y la brea se condensa en la superficie interna. El conducto debe ser inclinado o con preferencia vertical para permitir que el alquitrán cuele dentro del receptáculo, porque de otra manera la acumulación del mismo sobre las paredes del conducto actúa como aislante y cesa prácticamente la condensación.

Se requiere conductos de metal (acero), lo que requiere habilidad en el trabajo del metal y la disponibilidad de acero adecuado. Los dos tipos de hornos mejor

adaptados para la recolección de alquitrán son el tipo metálico transportable y el horno Casamance, o cualquier otro tipo equipado con chimeneas de acero. En todos los casos las chimeneas tienen que ser modificadas, para permitir que el alquitrán condensado se descargue dentro de algún tipo de recolector. La cantidad de alquitrán que puede recogerse en la práctica no es muy grande, siendo de alrededor de 25-35 kg de alquitrán por cada tonelada de madera seca al aire. (FAO, 1993)

2.3.6. PARÁMETROS MEDIOAMBIENTALES DE LA GASIFICACIÓN DE LOS RSU

Primero que nada se debe recalcar que "*La gasificación no es lo mismo que la incineración de RSU*". (Elstein)

Para poder gasificar RSU se debe tomar en cuenta que los gasificadores no admiten ciertos residuos, por lo cual hay que separarlos, es decir que previamente debe existir una fase de separación donde se extraen vidrios, metales, algunos plásticos, cartones, voluminosos, etcétera. Esto deja un alto porcentaje de material orgánico, así como una parte de plásticos y por último una parte de papel, que se puede enriquecer con algo de cauchos que es un material que no se lo utiliza para casi ningún otro proceso. En la primera instancia los RSU se encuentran en presencia de oxígeno, a efectos de que se realice una reacción parecida a la incineración para que se libere energía. Nada más que en este proceso se tiene un porcentaje reducido de oxígeno; así al momento de que se rompen las moléculas de carbono, azufre, nitrógeno, etcétera, no encuentran oxígeno para mezclarse. Por eso se forma dióxido de carbono y también hidrógeno suelto. Y la poquita agua que puede producir el residuo por su humedad reacciona para dar monóxido. Es decir, no le alcanza el oxígeno para formar otras sustancias (Elstein).

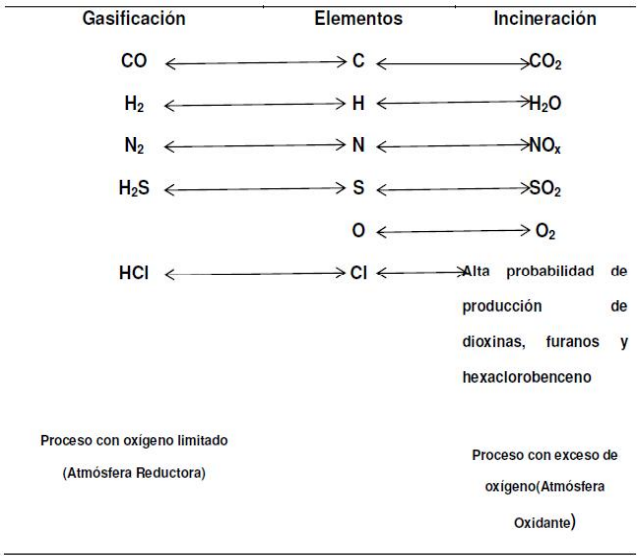


Figura 2. Comparación de procesos térmicos

Fuente: (Caballero, Experiencia de México con Pirólisis, 2007)

2.1.4. GASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE O TIRO DIRECTO

El tipo de gasificador más antiguo y sencillo es el de tiro directo o gasificador ascendente que se presenta esquemáticamente en la figura 2.

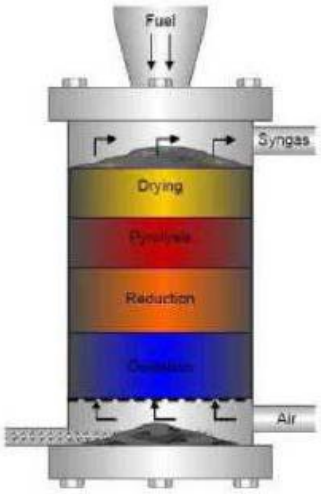


Figura 3. Gasificador de corriente ascendente o tiro directo "updraft"

La toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba, cerca de la parrilla. En el fondo, tienen lugar las reacciones de combustión que van seguidas de reacciones de reducción algo más arriba en el gasificador. En la parte alta del gasificador tiene lugar el calentamiento y pirólisis de la carga, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, de las zonas inferiores. Los alquitranes y productos volátiles producidos durante este proceso son transportados por la corriente de gas. Se remueven las cenizas del fondo del gasificador.

Las principales ventajas de este tipo de gasificador consisten en su simplicidad, alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que motiva unas bajas temperaturas de salida del gas y alta eficiencia del equipo y también la posibilidad de funcionar con muchos tipos de carga (aserrín, cáscaras de cereales, etc.). (FAO, 1993).

3. Diseño

3.1. DISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1.1. GASIFICADOR

FÓRMULA GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Tabla 8. Fórmula general de los RSU

	C	H	O
Σ	27.2	4.77	34.75
$\frac{\Sigma}{PM}$	2.27	4.77	2.17
⌡→C	1	2.10	0.96

$$\mathbf{CH_{2.10}O_{0.96}}$$

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

3.2. PROCESOS QUÍMICOS EN EL GASIFICADOR

Combustión de residuos urbanos

A. $CH_{2.10} + O_{0.96} + 0.545O_2 \rightarrow CO + 1.05H_2O$

Combustión de carbón

B. $H_20 + C \rightarrow CO + H_2$

Electrólisis

C. $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2$

Balance de masa para el gasificador

Flujos de entrada

La entrada de residuos urbanos más carbón para poder quemar es de:

$$50\frac{kg}{h}\ \mathrm{CH_{2.10}\,O_{0.96}}$$
$$+$$
$$21.29\frac{kg}{h}\ \mathrm{C}$$

$$71.29\frac{kg}{h}\ \mathrm{CH_{2.10}\,O_{0.96}} + \mathrm{C}$$

Mediante hidrólisis se obtendrá 29,47 *kg/h* O_2 necesario para la combustión y 3,68 *kg/h* H_2, con un requerimiento de 33.15 *kg/h* H_2O.

Flujos de salida

El proceso resultante dará, a la salida del gasificador:

CO

$$47.32\ kg\ \mathrm{CO}$$
$$+$$
$$49.69\ kg\ \mathrm{CO}$$

$$97.01\frac{kg}{h}\ \mathrm{CO}$$

H_2

$$3.54\ kg\ \mathrm{H_2}$$
$$+$$
$$3.68\ kg\ \mathrm{H_2}$$

$$7.22\frac{kg}{h}\ \mathrm{H_2}$$

3.3. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

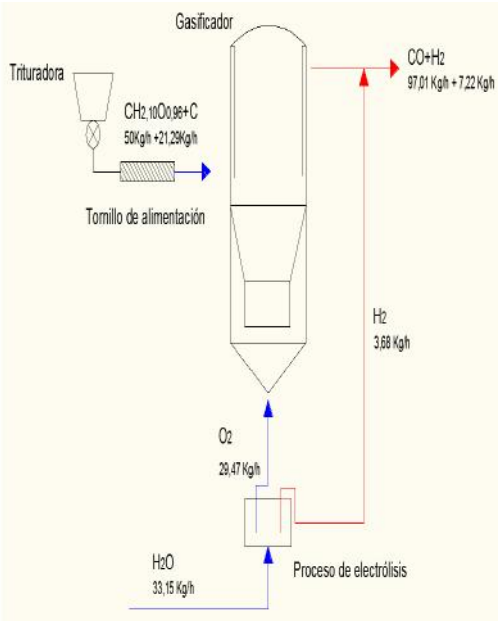


Figura 4. Flujograma de proceso

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

3.4. BALANCE DE ENERGÍA

Es la capacidad de la materia para producir energía, pudiendo adoptar distintas formas, todas ellas interconvertibles directa o indirectamente unas en otras.

El balance de energía viene de la "Ley de la conservación de la energía" (Primera Ley de La Termodinámica), es decir "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma". El balance de energía es aplicado para determinar la cantidad de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

La basura como se analizó en el Capítulo 2, tiene un PCI

$$\text{Total PCI (kcal/kg de RSU)} = 2292$$

Transformando a $\frac{kJ}{kg}$

$$\frac{2.292\ kcal}{kg} * \frac{4.19\ kJ}{kcal} = 9603.48 \frac{kJ}{kg}$$

El PCI del carbón vegetal es 31400 $\frac{kJ}{kg}$(Onsanger)

Utilizando la ecuación:

$$Q = \dot{m} * Hr \qquad (1)$$

Donde:

$Q = Calor\ en\ la\ cámara\ de\ combustión\ [kW]$
$\dot{m} = Flujo\ másico\ \left[\frac{kg}{s}\right]$
$Hr = Poder\ calorífico\ inferior\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$

Para la basura:

$$Q = 1{,}388x10^{-2} * 9603.48 = \ 133{,}38\ [kW]$$

Para el carbón:

$$Q = 5{,}9138x10^{-3} * 31400 = \ 185{,}69\ [kW]$$

La energía aportada por los materiales al gasificador es de 319,076 $[kW]$

El PCI del H2 es:

$$\frac{29000kcal}{kg} * \frac{4{,}19\ kJ}{kcal} = 121510 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = 9{,}83x10^{-4} * 121510 = 119.48\ [kW]$$

$$Q_t = Q_{sal} - Q_{ent}$$

$$Q = -199.59\ [kW]$$

3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL GASIFICADOR

La eficiencia de conversión en el gasificador de biomasa esta alrededor del 80%. (Basu, 2010).

Relación de balance para el componente A

$$\overset{0}{\nearrow}\quad\overset{0}{\nearrow}\quad \text{Entra} - \text{Sale} + \text{Genera} = \text{Produce}$$

Expresando el balance del componente A en función del volumen se tiene:

$$\begin{cases} V \to 0 \\ t = 0 \;\to\; F_{AO} = F_A \end{cases}$$

$$\overset{0}{\nearrow}\quad\overset{0}{\nearrow}\quad F_{jo} - F_j + \int_0^V r\ dV = \frac{dF}{dt}$$

Resolviendo analíticamente la ecuación diferencial:

$$V = \frac{F_{AO} - F_A}{-r_A} \qquad (2)$$

Donde:

$V = Volumen\ del\ reactor\ [cm^3]$

$r_a = Velocidad\ de\ reacción\ \left[\frac{1}{min}\right]$

$F_A = Flujo\ molar\ a\ la\ salida\ del\ reactor\ \left[\frac{mol}{min}\right]$

$F_{Ao} = Flujo\ molar\ a\ la\ entrada\ del\ reactor\ \left[\frac{mol}{min}\right]$

La velocidad de reacción es:

$$-r_A = k * C_A \qquad (3)$$

Donde:

$C_A = Concentración\ \left[\frac{mol}{cm^3}\right]$

$r_a = Velocidad\ de\ reacción\ \left[\frac{1}{min}\right]$

$k = Constante\ de\ velocidad\ de\ la\ reacción\ \left[\frac{cm^3}{mol * min}\right]$

La concentración de la reacción es:

$$CA * \dot{V} = F_A \qquad (4)$$

Donde:

$\dot{V} = Flujo\ Volumétrico\ \left[\frac{cm^3}{min}\right]$

$CA = Concentración\ de\ la\ mezcla\ \left[\frac{mol}{cm^3}\right]$

$F_A = Flujo\ molar\ a\ la\ salida\ del\ reactor\ \left[\frac{mol}{min}\right]$

Despejando la concentración de la ecuación (4) se obtiene:

$$CA = \frac{F_A}{\dot{V}} \qquad (5)$$

Se tiene la fórmula de la conversión:

$$x = \frac{F_{AO} - F_A}{F_{AO}} \qquad (6)$$

Donde:

$x = Porcentaje\ de\ conversión\ [\%]$

$F_{AO} = Flujo\ molar\ a\ la\ entrada\ del\ reactor\ \left[\frac{mol}{min}\right]$

$F_A = Flujo\ molar\ a\ la\ salida\ del\ reactor\ \left[\frac{mol}{min}\right]$

Resolviendo la ecuación (6) se obtiene:

$$F_A = F_{AO} - x * F_{AO} \quad (7)$$

$$F_A = 0{,}12 * F_{AO} \quad (8)$$

Remplazando (8) en (2) obtenemos que el volumen de reactor es:

$$V = \frac{F_{AO} - 0{,}2 * F_{AO}}{-\left(k * \frac{0{,}2 * F_{AO}}{\dot{V}}\right)} \quad (9)$$

Donde se tiene como resultado 1200000 cm^3 que transformados a m^3

$$V = 1{,}2\ m^3$$

3.6. DISEÑO MECÁNICO DEL GASIFICADOR UP-DRAFT

3.6.1. Espesor del cilindro del gasificador

$$t = \frac{Pd * (Re + CA)}{Sd * E + 0{,}4 * Pd} + CA \quad (10)$$

Donde:

$t = Espesor\ de\ la\ pared\ (pulg)$

$Pd = Presión\ de\ diseño\ (PSI)$

$Re = Radio\ Externo\ (pulg)$

$Sd = Esfuerzo\ máximo\ permisible\ del\ material\ (PSI)$

$E = Eficiencia\ de\ la\ soldadura$

Con los datos anteriores se obtiene que el espesor de la tubería sea de 11,88 mm (0,468”), con lo cual se elige el espesor nominal comercial de 12,7 mm (0,5”) el mínimo en el mercado.

3.6.2. Espesor de la cabeza toriesférica del gasificador

$$t = \frac{Pd * (L + CA) * M}{2 * Sd * E + Pd * (M - 0{,}2)} + CA \quad (11)$$

$$M = \frac{1}{4} * \left[3 + \sqrt{\frac{L_{max}}{r}}\right] \qquad (12)$$

Donde:

$t = Espesor\ de\ la\ pared\ (pulg)$

$Pd = Presión\ de\ diseño\ (PSI)$

$Re = Radio\ Externo\ (pulg)$

$Sd = Esfuerzo\ máximo\ permisible\ del\ material\ (PSI)$

$E = Eficiencia\ de\ la\ soldadura$

$M = Factor\ m\ (adimensional)$

$L = Radio\ externo\ del\ plato\ (pulg)$

Con los datos anteriores se obtiene que el espesor de la cabeza sea de 4,39 mm (0,173”), con lo cual se elige el espesor nominal comercial de 9,525 mm (0,375”) el mínimo en el mercado.

3.6.3. Espesor de las conexiones en el gasificador

$$t = \frac{Pd*(Re+CA)}{Sd*E+0{,}4*Pd} + CA \qquad (13)$$

Donde:

$t = Espesor\ de\ la\ pared\ (pulg)$

$Pd = Presión\ de\ diseño\ (PSI)$

$Re = Radio\ Externo\ (pulg)$

$Sd = Esfuerzo\ máximo\ permisible\ del\ material\ (PSI)$

$E = Eficiencia\ de\ la\ soldadura$

Tabla 9. Especificación de la las tuberías a ser utilizadas

Descripción	Designación de las aberturas	Especificación de la tubería
Salida del gas de síntesis	N1	6 NPS SCH 40s t=0,375
Entrada de RSU+C	N2	12 NPS SCH 30 t=0,33
Entrada de oxígeno	N3	¾ NPS SCH 80s t=0,154
Salida de Escoria	N4	12 NPS SCH30 t=0,33

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

3.7. DISEÑO TÉRMICO DEL GASIFICADOR UP-DRAFT

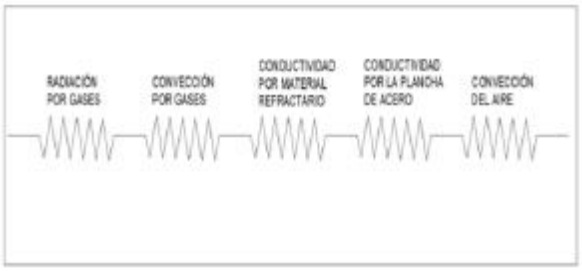


Figura 5. Diagrama de Resistencia Térmica

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

3.7.1. Determinación de la radiación de los gases

$$Q = \varepsilon_2 * A_2 * \alpha * (t_G - t_2) \qquad (14)$$

Dónde:

$\varepsilon_2 = Emisividad\ de\ la\ superficie\ receptora$

$A_2 = Área\ de\ la\ superficie\ receptora$

$\alpha = Coeficiente\ de\ radiación$

$t_G = Temperatura\ del\ gas$ (℃)

$t_2 = Temperatura\ de\ la\ superficie\ receptora$ (°C)

$$Q = 4{,}3995\ [kW]$$

3.7.2. Coeficiente global de transporte de calor

Este coeficiente debe ser el menor posible, para de esta manera aprovechar al máximo el calor disponible dentro del gasificador y, para limitar el flujo de calor a través de las paredes de la cámara de combustión, se ha dispuesto de material refractario y plancha metálica.

$$q = \frac{(\Delta T)global}{\sum R_t} = \frac{T_i - T_o}{\sum R_t} \qquad (15)$$

Donde la energía térmica es por:

Resistencia térmica por convección:

$$Rc = \frac{r2}{r1 * hi} + \frac{1}{ho} \qquad (16)$$

Donde:

$r2 = radio\ externo\ del\ material\ refractario$
$r1 = radio\ interno\ del\ material\ refractario$
$hi = coeficiente\ de\ convección\ interno$
$ho = coeficiente\ de\ convección\ externo$

Resistencia térmica por conducción:

$$Rco = \frac{r1 * \ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}{kr} + \frac{r3 * ln\left(\frac{r4}{r3}\right)}{ka} \qquad (17)$$

Donde:

$r2 = radio\ externo\ del\ material\ refractario$
$r1 = radio\ interno\ del\ material\ refractario$
$r4 = radio\ externo\ del\ acero$
$r3 = radio\ interno\ del\ acero$
$kr = Conductividad\ térmica\ del\ cemento\ refractario$
$ka = Conductividad\ térmica\ del\ acero$

3.8. CALOR QUE SE DISIPA EN EL GASIFICADOR

Para r1 se tomará un espesor como marcan las normas TULAS de 100 mm para el material refractario.

Ecuación:

$$\left(\frac{r2}{r1*hi}+\frac{r1*ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}{kr}+\frac{r3*ln\left(\frac{r4}{r3}\right)}{ka}+\frac{1}{ho}\right)*\pi*D*L*(\Delta T)=\ Q \qquad (18)$$

Resolviendo (18) obtenemos:

$$Q = 402{,}626 + 4{,}3995 = 407{,}03\ kW$$

3.9. CÁLCULO DE LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN EL REACTOR

Se puede calcular la caída de presión de la corriente gaseosa a través del lecho móvil, a partir de la ecuación de Ergun (Strassburger *et al*, 1969), (Trinks y Mawhinney, 1972), sobre la base de que la velocidad superficial de la fase sólida es despreciable frente a la velocidad superficial de la fase gaseosa. Por ello se consideró como un lecho fijo a los efectos del cálculo de la caída de presión. (Valderrama, 1998)

$$\frac{\Delta P}{L}=\frac{150*\mu_f*v_o*(1-\varepsilon)^2}{D_P^2*\varepsilon^3}+\frac{1{,}75*\rho_f*v_o^2*(1-\varepsilon)}{D_p*\varepsilon^3} \qquad (19)$$

Donde:

$\mu_f = Viscosidad\ del\ fluido, [Pa*s]$
$v_o = Velocidad\ superficial\ de\ fluidización, [m/s]$
$D_p = Diámetro\ de\ la\ partícula, [m]$
$\varepsilon = Porosidad, [adimensional]$
$\rho_f = Densidad\ del\ fluido, [kg/m^3]$
$\Delta P = Caída\ de\ presión, [Pa]$
$L = Longitud\ del\ lecho, [m]$

Resolviendo (19) optemos:

$$\Delta P = 0{,}0004\ atm$$

RESULTADOS Y DISCUSIONES

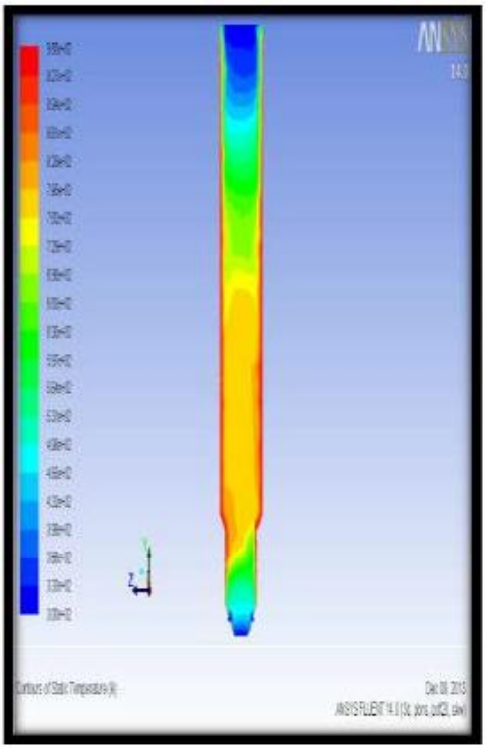


Figura 6. Resultado final del perfil de temperaturas obtenido en ANSYS.

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

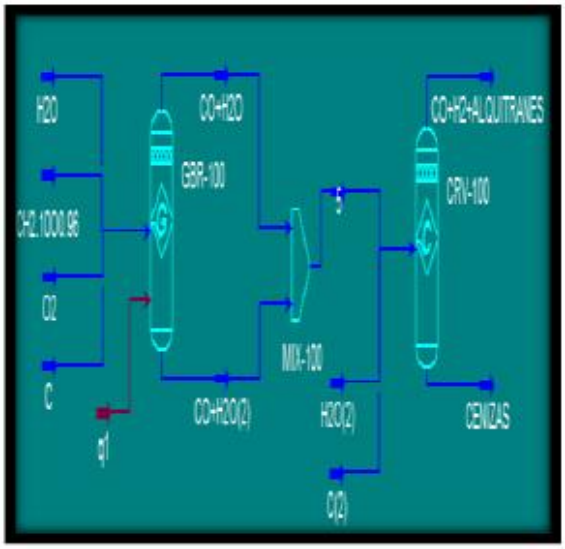


Figura 7. Diagrama de la simulación en DWSIM.

Fuente: (Rivadeneira, D; 2013)

Según el artículo científico escrito por Zapata Meneses & Augusto Estrada (2004) se hace referencia a varios ensayos en un gasificador entre los que se prueba residuos de varios tipos como madera y gas natural arrojando resultados que se compararon para obtener una producción de alquitrán aproximada del gasificador diseñado.

Con esta comparación se da a notar que el gasificador diseñado tendrá una producción de alquitrán de alrededor del 0,39 kmol/h.

CONCLUSIONES

Debido a la poca información que existe concerniente a los RSU en el Ecuador, el estudio se basó en información de la Universidad Paulista de Brasil, que hace referencia a la composición química de los RSU, que se asemeja en gran forma a la realidad que se vive en Quito con respecto a los residuos de la población, y así, partir con los cálculos del gasificador.

La posibilidad de que en el momento de gasificar los RSU se obtenga gases nocivos para el medio ambiente, fue descartada gracias a una investigación del Tecnológico de Monterrey (Caballero, 2007) en donde se experimentó gasificando este tipo de desechos y se obtuvo los siguientes resultados: como es un proceso que tiene ausencia de oxígeno no se producen emisiones al medio ambiente de Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno (tabla 7), ya que este tipo de elementos se forman al momento de incinerar los RSU en la presencia de oxígeno.

En la simulación en ANSYS se observa que se alcanzó las temperaturas requeridas para la formación de alquitranes.
Los 0,39 kmol/h de producción se los multiplicó con el peso molecular de una fórmula aparente del alquitrán obteniendo así 15kg/h.
El análisis financiero del proyecto demuestra que es económicamente viable, ya que el periodo de recuperación es de tres años y existe ganancia en este año, además de que muestra un valor beneficio - costo de ₡ 0,29 de ganancia por cada dólar gastado por producción.

REFERENCIAS

[1] ANSYS. (s.f.). *fluent_13.0_lecture07-heat-transfer*. Recuperado el 26 de 11 de 2013, de imechanica: http://imechanica.org/files/fluent_13.0_lecture07-heat-transfer.pdf

[2] ANSYS. (s.f.). *radiativo Ecuación de Transferencia*. Recuperado el 2013 de 11 de 14, de ANSYS: http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/node576.htm#eq-rte

[3] *ASCAMM*. 2007. Obtenido de http://ascammtraining.blogspot.com/2007/10/tolerancias-de-corte.html

[4] Barreras, M. y. 1996. *La Combustión* (Vol. Universidade de Engenharia Técnica de Barcelona). Barcelona: Ed. Cenac.

[5] Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Burlington: British.

[6] BiomassTechnologyGroup. 2012. *Your partner in bioenergy*. Recuperado el 22 de 08 de 2013, de btg: [www.btgworld.com/tecnologies/gasification.html]

[7] Caballero, P. 2007. *Experiencia de México con Pirólisis y* . Recuperado el 18 de 12 de 2013, de cec: http://www.cec.org/Storage/148/17397_Caballero1.pdf
Caballero, P. (2007). *Experiencia de México con Pirólisis y Gasificación para el manejo de residuos*. Recuperado el 18 de 12 de 2013, de CEC: http://www.cec.org/Storage/148/17397_Caballero1.pdf

[8] Cabanilla, A. (s.f.). *Gasificación de biomasa*. Recuperado el 28 de 04 de 2013, de upcomilla: http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report07/ppts/I%20Andr%C3%A9s%20Cabanillas%20CIEMAT.pdf

[9] Castells, X. E. 2005. Tratamiento y valorización energética de residuos. En X. E. Castells, *Tratamiento y valorización energética de residuos* (pág. 440). Madrid: Díaz de Santos.

[10] *CEMIOPERU*. 2008. Obtenido de http://cemioperu.tripod.com/fresadoras.html

[11] CIDAUT, U.-F. (s.f.). *Ecuaciones Generales de la Mecánica de FLuidos*. Recuperado el 13 de 11 de 2013, de UVA: https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento2.pdf

Correspondencia

Eduardo Gutiérrez Gualotuña
ergutierrez@espe.edu.ec

Aporte Santiaguino 8, 2015: 157-170
ISSN 2070-836X

Enfoque Sistémico para la optimización multiobjetivo del diseño de viviendas de interés social

Systemic approach to multi-objective optimization of social housing design

JESÚS RAFAEL HECHAVARRÍA HERNÁNDEZ[1], BORIS A. FORERO FUENTES[1] Y JOSÉ ARZOLA RUIZ[2]

RESUMEN

En el mundo contemporáneo las universidades juegan un rol fundamental en la búsqueda de soluciones a problemas que enfrenta la sociedad. En la medida en que la problemática a resolver es más compleja e incluye un mayor número de variables a considerar, los investigadores deben lograr modelos matemáticos que satisfagan los requerimientos científicos para obtener un compromiso razonable entre los indicadores de eficiencia que plantea el sistema de mayor envergadura. Tradicionalmente se define a los hogares de las personas de bajos ingresos como "Viviendas de Bajo Costo". Sin embargo, el concepto de Vivienda de Interés Social (VIS) se realiza para destacar que es prioridad encontrar un compromiso razonable entre los costos y otros indicadores como son el confort y el cuidado al medioambiente, para poder ofertar prototipos de viviendas saludables y seguras. En el presente trabajo se esboza los fundamentos de la Metodología de "Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones Bajo Criterios Múltiples", la cual ha sido validada a través de su aplicación en diversos problemas complejos conducentes a tesis doctorales. En esta ocasión se orienta a la búsqueda de soluciones a uno de los problemas más apremiantes del mundo contemporáneo del cual Ecuador no está exento. ¿Cómo incrementar la productividad y la calidad de las viviendas de interés social en el Ecuador a partir de procedimientos de diseño y sistemas constructivos que garanticen un compromiso razonable entre el costo, el confort y el cuidado al medioambiente?

Palabras clave: enfoque sistémico; viviendas de bajo costo; optimización multiobjetivo; sistemas de ingeniería.

ABSTRACT

In the contemporary world universities play a key role on finding solutions to problems that society faces. In the way that the problem increases and is more complex including a large number of variables to consider, researchers must obtain mathematical models that meet scientific requirements for a reasonable compromise between efficiency indicators posed by the larger system. Traditionally houses of low-income people are defined as "low cost housing". However, the concept for this kind of dwelling emphasizes that priority is to find a

1 Universidad de Guayaquil, Guayas, Ecuador.
2 Instituto José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba

reasonable compromise between costs and other indicators such as comfort and environmental care, in order to offer healthy and safe homes. In this paper there is outlining the fundamentals of Methodology "Analysis and Synthesis of Engineering Systems for Preparation and Taking Decisions under Multiple Criteria", which has been validated through its application in various complex problems leading to doctoral thesis. This time it is aimed to finding solutions for some of the pressing problems of the contemporary world which Ecuador is not free. How to increase productivity and the quality of social housing in Ecuador through design process and construction technologies that guarantee a reasonable compromise between cost, comfort and the environmental care?

Keywords: systemic approach; affordable housing; multi-objective optimization; systems engineering.

INTRODUCCIÓN

La problemática de la oferta de vivienda tiene su principal componente en el aumento de la población del Ecuador. Según datos censales del año 2012, se estima pasará de 15 millones a 23 millones para el año 2050. Sin embargo, las iniciativas privadas y públicas para resolver la creciente demanda habitacional de los ciudadanos muestran ineficiencia en sus procesos tanto de gestión como de calidad. El déficit de viviendas para los estratos bajos de la población ecuatoriana se muestra en el censo del 2010; los datos arrojados ilustran que la polarización de los dos sectores de asentamientos en Guayaquil llegó a su máxima histórica: un 28% de población vive en barrios residenciales mientras un 72% lo hace en barrios populares [1]. Ante este panorama, la oferta de soluciones habitacionales por parte del gobierno luce insuficiente; más si es para los sectores sociales más pobres [2].

El Banco Interamericano de Desarrollo señala que el gran desafío de las políticas de la región, debe estar orientado a mejorar la calidad y localización de la vivienda de interés social, sin contribuir a la expansión de la frontera urbana. Se debe frenar la tendencia al crecimiento horizontal de los límites de la ciudad, lo cual demanda recursos naturales, aumenta la segregación social y el costo de acceso a servicios básicos. En la última década, en Latinoamérica la tasa de crecimiento de la superficie urbanizada cuadruplicó a la de la población. Es imperioso que las ciudades y demás entidades territoriales, prevean el desarrollo razonable en sus territorios; y específicamente en el caso de la vivienda, donde se requiere del incremento de la densidad poblacional[1] (con soluciones en altura para aprovechar mejor el espacio urbano), apuntando así a una mejor calidad de vida y a un desarrollo sostenible donde los aspectos sociales, ambientales y económicos encuentren su equilibrio [3] [4].

1 Término definido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1604:2014

El diseño de prototipos de viviendas de interés social parte del estudio del contexto social, económico y medio ambiental, caracterizando así el territorio donde se implantará el proyecto y al usuario de la vivienda. Con este conocimiento, será posible dar respuestas coherentes, integrando el diseño del mobiliario interior a las viviendas de interés social, teniendo en cuenta el análisis ergonómico y antropométrico de la comunidad.

En la búsqueda, a la compleja solución que tiene la problemática planteada, se propone implementar la metodología de "Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples" [5], la cual ha demostrado su veracidad en múltiples trabajos científicos conducentes a tesis doctorales. Uno de los resultados científicos más relevantes en la aplicación de la metodología lo constituye la "Optimización del diseño de redes de distribución de agua bajo criterios técnico-económicos" [6]. El enfoque sistémico concebido para el diseño de estas obras hidráulicas conjuntamente con la informatización de los procesos de cálculo y dibujo permitieron incrementar la calidad en las variantes de diseño obtenidas, lo cual se tradujo en un sensible incremento de la calidad de vida en la población cubana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque sistémico permite aproximarse al objeto de estudio de manera integral, a diferencia del método tradicional; se tiene en cuenta diversos indicadores en los cuales se reconocen patrones, flujos y relaciones que los articulan [7]. Esto se interpreta en la arquitectura como una visión global donde cada parte componente (en este caso de la vivienda y su hábitat) corresponde a un "todo" y debe ser estudiado en conjunto para encontrar soluciones óptimas. Las diferentes propuestas arquitectónicas y urbanísticas de proyectos de vivienda para estratos de bajos ingresos económicos, históricamente carecen de este carácter o visión integradora, multidisciplinaria y participativa.

La implementación de la función objetivo en una aplicación CAD será una herramienta que permitirá potenciar el proceso de toma de decisiones. Un caso de estudio similar es desarrollado por [8] en el cual logran el mejoramiento de barrios marginales integrando universos de soluciones que buscan el compromiso entre maximizar los beneficios de un proyecto, el control y minimización de los costos de los mismos y disminuir la perturbación del barrio durante la ejecución del plan; integrando además las decisiones urbanísticas con las decisiones de planificación.

La caracterización del territorio permite aproximarse desde los aspectos físicoambientales, económicos y sociales, estudiando los requerimientos para determinar no sólo las cualidades formales de la envolvente arquitectónica, sus espacios y usos, sino también establecer los lineamientos de la propuesta que se inserta en un espacio urbano determinado; estos permitirán proyectar respuestas

arquitectónicas adecuadas a las relaciones entre hábitat y vivienda. Esta habitabilidad debe desarrollarse vinculada también al uso y gestión de los recursos económicos, construyendo la mitigación de la inequidad y vulnerabilidad [9].

El análisis de los sistemas constructivos utilizados tradicionalmente en cada territorio [10] es uno de los pilares fundamentales de esta investigación debido a la influencia directa que tienen en la productividad de la vivienda y la posibilidad del crecimiento en altura; estos factores serán determinantes para suplir la alta demanda de viviendas de interés social además de la industrialización de procesos productivos enfocados a la vivienda que son requeridos por el Ecuador en aras de invertir la matriz productiva.

Existen varios casos sobre viviendas de interés social. Uno de ellos lo encontramos en Chile. Este es un ejemplo de viviendas unifamiliares, el proyecto nace con el concepto de crecimiento progresivo[2], que plantea una estructura porticada (elementos estructurales compuestos por vigas y columnas) ya consolidada, dentro de la cual el propietario construye a medida de sus necesidades y consolida su hábitat. Estos experimentos han dado buenos resultados, y permiten que las comunidades se apropien de los espacios habitacionales y su entorno próximo, generando sentido de pertenencia y de inclusión [11]. El autoconstructor no se detiene en la edificación de nuevos espacios de su vivienda, sino que también aborda la adaptación y mejoramiento de lo ya construido [12].

La adaptación de estos ejemplos a través del análisis del contexto social permitirá mejorar la proyección de espacios. Actualmente una de las causas del sentimiento de la ausencia de confort en las viviendas de interés social, son el resultado de no integrar al usuario en los procesos de diseño [13].

Otro componente importante en el proceso de diseño, es el método bioclimático, el cual se encarga de la respuesta coherente a una realidad climática. Parte con el acopio de información, donde se describe la ubicación geográfica del asentamiento y sus características climáticas más relevantes, pues son elementos indispensables para caracterizar el entorno donde se emplaza el proyecto. Dentro de la realidad de una localidad específica, también están sus materiales [14] y sistemas constructivos con sus respectivos desempeños térmicos que acompañan las condiciones de habitabilidad de una solución habitacional. Parte importante de esa realidad, es también la orientación de la volumetría del proyecto, factor decisivo a la hora de plantear soluciones arquitectónicas y sacarle mejor partido al diseño solar [15].

Método de Integración de Variables

El concepto del método de Integración de Variables se obtiene al utilizar no necesariamente un código variable para describir las posibles soluciones, sino

[2] Vivienda concebida para ser ampliada en la medida de necesidades.

cualquier cantidad de ellos y cualquier conjunto de operadores para actualizar los miembros de la población, como se muestra en la figura 1.

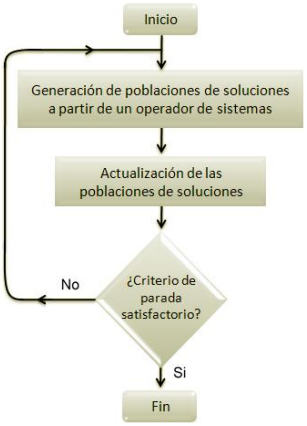


Figura 1. Algoritmo del método de Integración de Variables

Las posibles variantes de solución son codificadas en uno o más códigos variables. Se genera, según un procedimiento característico para cada realización particular del método, un juego de "n" soluciones factibles. En particular, en calidad de procedimientos puede usarse diferentes métodos iterativos de la Programación No lineal y Discreta aplicados a los códigos de solución, con entornos de búsqueda seleccionados al azar, determinísticamente o de forma combinada.

Cada procedimiento específico de generación de poblaciones se corresponde con una variante concreta de aplicación del método. Un caso particular del procedimiento está constituido por una sucesión dada de operadores genéticos aplicada a una población inicial, lo que lleva al método de los Algoritmos Genéticos [5].

Análisis del sistema de dirección por tareas

Las tareas de preparación de decisiones derivadas de la aplicación de los principios de descomposición enunciados en la obra "Sistemas de Ingeniería" [16] se someten a Análisis Externo e Interno, ver figura 2. La necesidad en la realización de estas etapas de análisis se fundamenta, entre otros resultados, sobre la base de los principios del Enfoque Cibernético de Norbert Wiener [17].

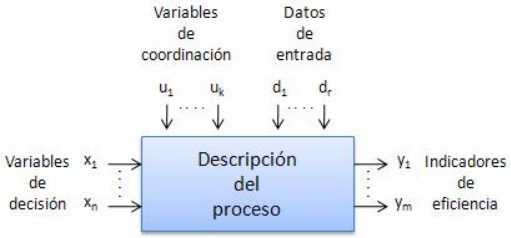


Figura 2. Información involucrada en el Análisis Externo

El Análisis Externo consta de las etapas siguientes:

Estudio de la tarea de mayor envergadura a la cual se encuentra subordinado el sistema, objeto de análisis, así como la descomposición de la tarea dada. Sólo de esta forma se puede asegurar que los arquetipos se inserten adecuadamente en el "medio ambiente" en el cual deberá funcionar. Aquellas variables de decisión de la tarea de mayor envergadura que determinan el enlace con el proceso de diseño de viviendas se denominan variables de coordinación.

Determinación de los indicadores que caracterizan la calidad de las soluciones posibles del diseño de viviendas y que pueden resultar de interés al potencial usuario del sistema. Estos reciben el nombre de indicadores de eficiencia y se determinan mediante encuestas entre empresarios y especialistas vinculados con el diseño de viviendas. Estos indicadores pueden tener carácter formalizable (ser calculables) o no formalizable (evaluados subjetivamente).

Estimación inicial de la composición de las variables de decisión y de los datos de entrada para el diseño de vivienda, las que se precisan durante el Análisis Interno. Las variables de decisión son aquellas que pueden ser modificadas a voluntad por los responsables de la optimización del proceso de diseño, con el fin de obtener el mejor compromiso posible entre los indicadores de eficiencia del proceso. Los datos de entrada son parámetros propios del proceso que adoptan valores conocidos, con distribución de probabilidad conocida o que pueden ser, incluso, desconocidos.

Determinación de variables intermedias de interés en el proceso de diseño, así como restricciones necesarias para cada una de ellas.

Descomposición de la tarea de diseño de viviendas en elementos componentes. Esta fase prepara al analista para el estudio posterior de los mecanismos de composición de soluciones (o de conciliación de decisiones) que se realiza en las fases posteriores de Análisis y Síntesis del Sistema.

Concluido el Análisis Externo se realiza el Análisis Interno. Este último consiste en la determinación del algoritmo más racional para calcular los indicadores de eficiencia formalizables a partir de las variables de entrada, así como los procedimientos de generación de las imágenes gráficas necesarias para evaluar con efectividad los indicadores de eficiencia no formalizables.

El Análisis Interno consta de las fases siguientes:

Modelación matemática: se determinan aquellas relaciones que permiten explicar las salidas (indicadores de eficiencia), a partir de las entradas del proceso (variables de coordinación). En esta fase quedan precisados los datos de entrada al diseño de viviendas, los que están constituidos por toda la información, parámetros, constantes, así como toda clase de información de entrada no asociada directamente.

Organización racional de los procedimientos de cálculo: se precisa la composición de las variables de decisión y el orden de los cálculos que conducen a algoritmos con la menor cantidad posible de ciclos, donde quedan definidos los algoritmos de cálculo para el diseño de viviendas.

Simulación: se realiza la implementación de los procedimientos de cálculo ingenieriles.

El Análisis Interno puede requerir de profundas revisiones bibliográficas sobre el tema, la realización de investigaciones encaminadas a completar la descripción matemática del proceso, la organización de procedimientos eficientes de simulación, entre otros.

La separación del proceso de análisis en dos partes es convencional, una vez realizado el Análisis Interno, se retorna al Análisis Externo con el fin de precisar la composición de variables. El proceso puede requerir de varias iteraciones.

Formulación general de la tarea de generación de opciones

Como una parte de los indicadores de eficiencia requiere que sean minimizados, otros maximizados e incluso evaluados subjetivamente, tales como la comodidad, la belleza, la conveniencia al sistema mayor del cual forma parte el sistema estudiado [18][19], se realiza la siguiente sustitución de variables para los indicadores de carácter subjetivo:

$$Z_i = \theta_j y_i \qquad (1)$$

Donde:

$$\theta_j = \begin{cases} 1 \; si \; se \; requiere \; minimizar \; y_j \\ -1 \; si \; se \; requiere \; maximizar \; y_j \end{cases}$$

Los indicadores y_i son aquellos que fueron obtenidos durante el Análisis Externo, los que dependen de los valores de las variables de decisión x_i. La consideración de los indicadores de carácter subjetivo se realiza mediante la selección, con ayuda de métodos gráficos y de simulación detallada de las opciones más prometedoras de las soluciones encontradas a partir del modelo matemático general siguiente:

Minimizar $[z_1(x), z_2(x),\ldots, z_m(x)]$ (2)

y satisfacer, al mismo tiempo, el conjunto de restricciones:

$$\begin{aligned} &g_1(x) \geq b_1 \\ &g_2(x) \geq b_2 \\ &\vdots \\ &gr(x) \geq br \end{aligned} \qquad (3)$$

Las restricciones (3) se establecen durante el *Análisis Interno* y tienen por tanto que ver con la elaboración del procedimiento de cálculo de las salidas como función de las entradas. En el caso general, no resulta posible la minimización simultánea de las *m* funciones del vector (2). Para enfrentar esta situación se utiliza los resultados del *Análisis Multicriterial* [20][21].

Como resultado del estudio realizado, se determina, como enfoque general adecuado a las necesidades de este trabajo, la sustitución de la minimización simultánea indicada en (2), por la minimización repetida que se muestra en (4), la que expresa la distancia ponderada y normalizada de *Tchebucheff* con respecto a una solución ideal y^{id} [16][19][22]

$$(4)\quad \beta = \max_i w_i \frac{\left|y_i - y_i^{id}\right|}{\left|y_i^{id}\right|} \qquad i = 1, 2, \ldots, n$$

En la práctica, las soluciones ideales pueden ser sustituidas por soluciones deseables. Una solución deseable no es otra cosa que un conjunto de valores de aspiración para los diferentes indicadores de eficiencia. Donde las y_i se corresponden con los indicadores de eficiencia cuantificables, independientemente si requieren o no ser minimizados, y las y_i^{id} se corresponden con los valores ideales de estos indicadores, los que en la práctica pueden ser sustituidos por valores deseables. Se puede aplicar pesos sobre las penalizaciones para ponderar la importancia relativa de la realización de cada meta. Generalmente los coeficientes de peso w_i se normalizan mediante la restricción:

$$(5)\qquad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1, w_i \in R, 0 \leq w_i \leq 1$$

Para conciliar las decisiones del sistema asociado a la tarea estudiada con semejantes tareas que forman parte del sistema de mayor envergadura, se genera espacios de decisiones próximas al mínimo de la función objetivo (4). Las soluciones que forman parte de estos espacios reciben el nombre de *opciones de decisión*; al proceso mismo de generación de opciones se le denomina *Preparación de Decisiones*. Una vez generadas las decisiones pueden ser filtradas al tomar en consideración factores de tipo subjetivo evaluados con ayuda de métodos gráficos y de simulación. Las decisiones que permanecen como candidatas a ser elegidas son consideradas *Propuestas* del correspondiente elemento del sistema al *Sistema de Dirección de Mayor Envergadura* [5][19][23]. La realización práctica de la tarea de generación de opciones de decisión tiene mucho que ver con los métodos modernos de optimización discreta y las metaheurísticas.

Tanto el cálculo de los indicadores de eficiencia y_i como de las funciones $g(x)$ sometidas a restricciones y que aparecen en el modelo general de toma de decisiones mostrado anteriormente, son generalmente el resultado de procedimientos complejos de cálculo, por lo que en la solución de este modelo quedan excluidos los métodos de optimización orientados a modelos matemáticos con estructura específica, a no ser aquellos casos cuando estos métodos se usan para generar soluciones aproximadas que requieren de una precisión posterior. Por estas razones, los métodos adecuados para generar opciones de decisión están dados por los métodos numéricos de búsqueda directa de la *Programación No Lineal*, algunos de los métodos de la *Programación Discreta* y técnicas *Metaheurísticas* dentro de las que se encuentra el método de *Integración de Variables*.

Generación de la población de soluciones de diseño

El uso de las metaheurísticas queda fundamentado a problemas cuya solución no es satisfactoria por métodos tradicionales y no se justifica en la práctica la implementación de métodos de búsqueda exhaustiva. De modo que se aplica con el objetivo de obtener "buenas soluciones" en un tiempo razonable [24]. En correspondencia con el *Método de Integración de Variables* se establece la ecuación 6, donde se obtiene una población de soluciones de diseño de vivienda, al considerar las posibles combinaciones que presentan los *m* elementos de la vivienda.

$$\prod_{i=1}^{m} opc(i) \tag{6}$$

La cantidad total de combinaciones de soluciones para los *m* elementos componentes de la vivienda equivale al Valor Máximo del Código (*ValorMaxCod*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

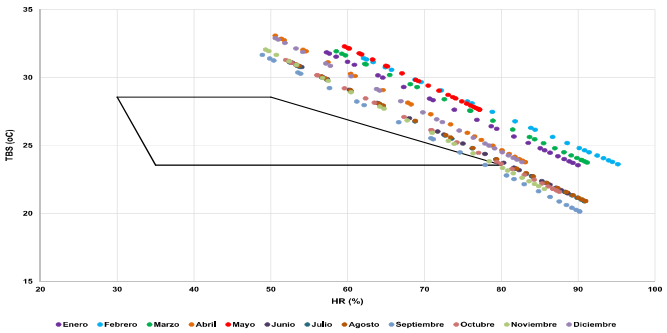
En la figura 3 se muestra un caso particular sobre posibles combinaciones que pueden tener los elementos componentes de una vivienda. Teniendo en cuenta la ecuación 6 para este sencillo ejemplo, el total de combinaciones posibles arroja un resultado de 5,64E+15, lo cual demuestra lo complejo que resulta la actividad de los arquitectos e ingenieros encargados de diseñar viviendas. Este análisis conlleva a la búsqueda de procedimientos y métodos científicos que se adecúen al problema en estudio y permitan apoyar a los proyectistas en el proceso de toma de decisiones.

Tabla 1. Posibles elementos componentes de una vivienda

1	Cimentación	3	10	Cielos rasos	3	19	Escal. Ext.	3
2	Estructuras	6	11	Pisos Ext.	6	20	Escal. Int	6
3	Losas	3	12	Pisos Int.	3	21	Patios	3
4	Cubierta	6	13	Revest. Ext.	6	22	Cerramento	6
5	Pared Ext.	6	14	Revest. Int.	6	23	Terrazas	6
6	Pared Int.	6	15	Inst. Eléctrica	6	24	Balcones	6
7	Puerta Ext.	6	16	Inst. Hidrául.	6	25	Portales	6
8	Puerta Int.	5	17	Inst. Sanitaria	5	26	Áreas verde	5
9	Ventana	6	18	Climatización	6	27	Caminería	6

Diseño bioclimático

El diagnóstico bioclimático esboza los requerimientos a partir del análisis de la información adquirida en la etapa inicial, donde la orientación de la volumetría del proyecto también es factor decisivo a la hora de plantear soluciones. Las propuestas arquitectónicas tendrán en cuenta de la comprensión de los requerimientos y su respectiva validación a través del cálculo de balance térmico y energético del edificio. El principal requerimiento para el diseño de las viviendas es ventilar los espacios interiores y bloquear la radiación solar para evitar la ganancia de calor. Como se puede observar en la figura 3, durante los primeros meses del año se presenta la mayor necesidad de ventilación acompañada de protección ante la incidencia solar.



(a)

(b)

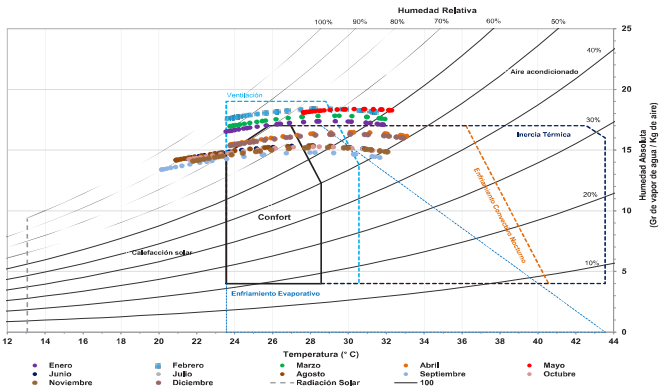


Figura 1. Cartas bioclimática (a) y psicrométrica (b) de Guayaquil. Fuente: Caracterización climática, Universidad de Colima

Geometría solar

Por estar próximo a la línea ecuatorial a dos grados de latitud sur, en Guayaquil se presenta asoleamiento tanto sobre los planos orientados al norte como aquellos hacia el sur, ver figura 3. Esto crea la necesidad de protección solar en todas sus fachadas para evitar la ganancia de calor.

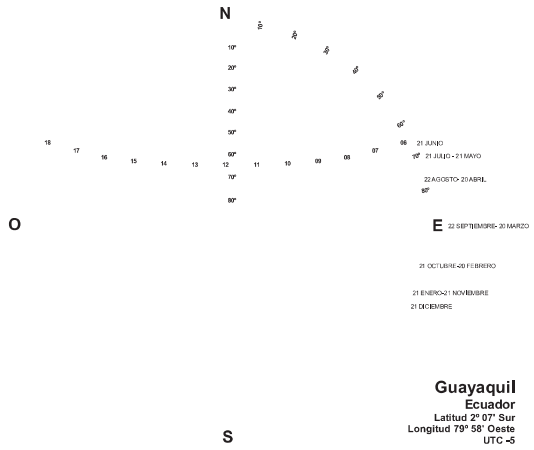


Figura 3. Ilustración del diagrama solar para Guayaquil

Desarrollo de tecnologías CAD como apoyo al proceso de toma de decisiones

El desarrollo de un sistema computacional como apoyo al proceso de toma de decisiones en el diseño de viviendas debe estar concebido según una filosofía

flexible. Debe permitir durante el proceso de diseño, que el proyecto se adapte y asimile los cambios ante enmiendas.

De modo que la integración de los procesos, de análisis y diseño conceptual, automatización de métodos y procedimientos de cálculo, así como la entrega de resultados gráficos y de texto, admite el análisis y la síntesis de la actividad de proyecto bajo un enfoque concurrente, lo cual posibilita la participación de diversos especialistas desde la concepción misma de la tarea de diseño apoyados en herramientas CAD [19] y [22].

CONCLUSIONES

La metodología de Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería aplicada al diseño de viviendas permitirán realizar una adecuada clasificación de las variables involucradas en el sistema de toma de decisiones.

Independientemente de la complejidad del proceso de optimización del diseño de viviendas, se considera como indicadores de eficiencia: el costo, el confort y el cuidado del medio ambiente; para garantizar que los prototipos aporten al desarrollo sostenible.

En el proceso de optimización el análisis bioclimático permitirá evaluar qué propuestas arquitectónicas son las más adecuadas a las relaciones entre hábitat y vivienda donde el comportamiento térmico de los materiales de construcción es fundamental en el confort térmico de las viviendas.

Se hace necesario concebir un sistema computacional que permita integrar las etapas de la actividad de diseño en aras de lograr la optimización del diseño de viviendas bajo criterios sostenibles.

REFERENCIAS

[1] INEC. *Ecuador en cifras*. Recuperado el 01 de agosto de 2015, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/ipc-canastas-2015/

[2] Corral, Andrea. *"Un techo para mi país" Iniciativa para solucionar el déficit de vivienda popular en América Latina*. Quito: Pontificia Universidad Católica. Facultad de Economía, 2011.

[3] Bastidas, D. y Medina, P. *Estimación de la Densidad Poblacional del Ecuador Continental*. Quito: Analitika, Revista de Análisis Estadístico. Vol. 1, 2011.

[4] BID. *Urbanización rápida y desarrollo: cumbre de América Latina y China*. Nueva York: BID 2014.

[5] Arzola, J. *Analysis and Synthesis of Engineering Systems Preparing and making engineering decisions under multiple criteria*. http://www.researchgate.net/publication/273439310, 2010

[6] Hechavarría, JR. *Optimización del diseño de redes de distribución de agua bajo criterios técnico-económicos*. Tesis doctoral. Universidad de Oriente. Cuba. 2009.

[7] Bennett, J. *Estudios sobre el eneagrama*. Barcelona: Sirio. 2000

[8] El-Anwar, O. y Aziz, T. *Integrated Urban-Construction Planning Framework for Slum Upgrading Projects*. s.l.: American Society of Civil Engineers. Vol. 140. 2014.

[9] Jordán, R. y Simioni, G. *Gestión urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Sanitago: CEPAL. 75, 2003

[10] Ugalde, J. *Técnicas constructivas tradicionales*. Guayaquil: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. 2010.

[11] Contal, MH y Revedin, J. *Sustainable Design: Towards a New Ethic in Architecture and Town Planning*. Berlín: Birkhäuser. 2013.

[12] Greene, M. y Gonzalez, E. *Chile vivienda incremental*. Nueva York: Banco Interamericano de Desarrollo. 2012

[13] Brakarz, J., Greene, M. y Rojas, E. *Ciudades para todos. La experiencia reciente en programas de mejoramiento de barrios*. s.l: Inter-American Development Bank. 2002.

[14] González, E. *Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática*. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD) Universidad del Zulia, 4011-A-526 Maracaibo, Venezuela. 2003 www.anes.org/anes/formularios/redesconocimiento2003-03.pdf

[15] Szokolay, S. *Introduction to architectural science*. Oxford: Elsevier. 2004

[16] Arzola, J. *Classical and Generalized Selection of Proposal Tasks in the solution of the Augmented Tchebycheff Program*, Proceeding de la XI Conferencia Latino - Iberoamericana de Investigación Operativa, Santiago de Chile, 2002.

[17] Wiener, N. *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine*, Willey, New York. USA. 1949.

[18] Vanderplaats, G.N. (2001): *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design*, 3rd ed. Colorado Springs: Vanderplaats Research & Development Inc., ISBN: 0944956017.

[19] Hechavarría, JR. et al. *Diseño Óptimo de Redes Hidráulicas bajo Criterios Múltiples*, Revista Ingeniería Mecánica, CUJAE, Volumen 10, No. 2, Mayo/Agosto, pp: 15-22. 2007.

[20] Suman, B. and Kumar, P. *A survey of simulated annealing as a tool for single and multiobjective optimization*, Journal of the Operational Research Society, 57, 1143-1160. Department of Chemical Engineering and Meterials Science. University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA. 2006. http://www.palgrave-journals.com/jors

[21] Masegosa, A., Verdegay, J.L. y Sancho, A. *Una metaheurística bioinspirada, cooperativa, centralizada y adaptativa para la resolución simultánea de múltiples instancias de problemas de optimización*, Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Granada, España. 2008.

[22] Montero, R., Hechavarría, JR., Legrá, A., Borroto, A. y Santos, R. *Análisis y síntesis de la operación de circuitos secundarios de agua fría en climatización centralizada.* Revista Ingeniería Mecánica, CUJAE, 08/2012; 15(2):83-94

[23] Montero, R. *Optimización energética de la operación de los sistemas de climatización centralizados en hoteles*. Universidad de Oriente. Cuba. 2014

[24] Glover, F. and Kochenberger G. A. *Handbook of Metaheuristics*, Operations Research Management Science, Kluver Academic Publishers. 2003.

Correspondencia

Jesús Rafael Hechavarría Hernández
jesusr2h@gmail.com

II

DISEÑO, FABRICACIÓN Y MECATRÓNICA

Aporte Santiaguino 8, 2015: 173-180
ISSN 2070-836X

Generación de math apps en sistemas dinámicos para ingeniería con maplesoft

Generation of math apps in dynamic systems engineering with maplesoft

LENIN ARAUJO CASTILLO[1]

RESUMEN

En el presente trabajo se demuestra cómo es que la simulación de sistemas dinámicos para ingeniería ha sido implementada con algoritmos gráficos usando el software maple y maplesim. En la actualidad muchos de nuestros investigadores realizan el modelamiento computacional insertando código desde una hoja de trabajo estática; con estos paquetes hemos implementado a través de componentes la automatización de la cinemática y dinámica de sólidos simples hasta complejos.

Es muy importante destacar que, una vez desarrolladas las ecuaciones de estudio, recién podemos pasar a la simulación, para de esta manera empezar la construcción física del sistema. Usaremos la metodología matemática y computacional con ayuda de los botones incrustados, los cuales yacen en las hojas dinámicas y la plataforma de visualización, la nube de maplesoft y el poder de maplenet para la evaluación en línea de profesionales especialistas en el área. Finalmente, se va a observar algunos trabajos realizados; los cuales integran varios conceptos mecánicos y computacionales implementados para empresas en tiempo real como patrón de credibilidad.

Palabras claves: maplesoft; maple; maplesim.

ABSTRACT

In this paper we demonstrate how the simulation of dynamic systems engineering has been implemented with graphics software algorithms using maple and MapleSim. Today, many of our researchers the computational modeling performed by inserting a piece of code from static work; with these packages we have implemented through the automation components of kinematics and dynamics of solids simple to complex.

It is very important to note that once developed equations study; recently we can move to the simulation; to thereby start the physical construction of the system. We will use mathematical and computational methods using the embedded buttons which lie in the dynamics leaves and viewing platform cloud of Maplesoft and power MapleNet for online evaluation of specialists in the area. Finally they will see some work done; which integrate various mechanical and computational concepts implemented for companies in real time and pattern of credibility.

Keywords: maplesoft; maple; maplesim.

1 Universidad Cesar Vallejo, Perú.

INTRODUCCIÓN

Utilizaremos los conceptos fundamentales de la mecánica del sólido, analizando la trayectoria, cinemática y cinética del movimiento; haciendo énfasis en los parámetros iniciales de cada sistema en velocidades y aceleraciones angulares desarrolladas en cada parte del mecanismo. Hemos tomado como punto de partida el movimiento en el plano.

Movimiento en un Plano

Cuando un cuerpo se somete a movimiento en un plano general, se traslada y gira al mismo tiempo. Hay varios métodos para el análisis de este movimiento (figura 1).

Figura 1. Movimiento de un cuerpo en un plano general

Si se conoce el movimiento de un punto sobre un cuerpo o el movimiento angular de una línea, entonces puede ser posible relacionar este movimiento al de otro punto o línea usando un análisis de movimiento absoluto. Para ello, la posición lineal, las coordenadas y las posiciones angulares se establecen (midiéndolas desde un punto fijo o línea). Esta decide las coordenadas de posición, se relacionan con el uso de la geometría del cuerpo. La derivada en el tiempo de esta ecuación da la relación entre las velocidades y/o las velocidades angulares. Una segunda derivada en el tiempo se relaciona con las aceleraciones y/o las aceleraciones angulares [1].
A continuación se muestran las ecuaciones que describen el movimiento de traslación y rotación considerando dos puntos A y B en el sólido [2] y [5]:

$$v_B = v_A + \omega \, x \, r_{B/A} \quad (1)$$

$$a_B = a_A + \alpha \, x \, r_{B/A} - \omega^2 r_{B/A} \quad (2)$$

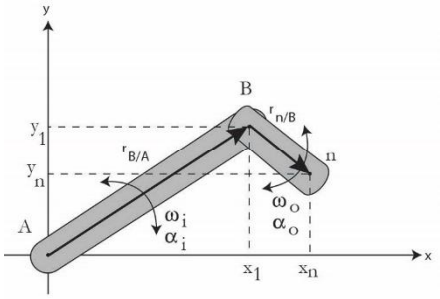


Figura 2. Ecuaciones que describen el movimiento de traslación

donde v son los velocidades en los puntos específicos y ω y α son la velocidad y aceleración angular respectivamente (figura 2).

Cuando se trata de ingeniería, Maplesoft tiene una ventaja clave: Maplesoft de avanzado motor de cálculo simbólico. Este motor ha evolucionado a lo largo de un período de 30 años y ahora se considera que tiene la funcionalidad de matemáticas más avanzadas del mundo. Todas las herramientas Maplesoft, incluyendo MapleSim y Maple, se construyen sobre esta base simbólica. Maplesoft le proporciona los conocimientos y las herramientas que necesita para cumplir su proyecto con requisitos de rapidez, eficacia y basado en el modelo de diseño; ayuda a reducir el riesgo de desarrollo y llevar productos de alta calidad al mercado más rápidamente.

El modelo de control predictivo es una técnica avanzada utilizada para representar el comportamiento de los sistemas complejos. Sin embargo, esta misma complejidad es lo que lo hace desafiante para crear un modelo del sistema que sea de suficiente fidelidad para reflejar con precisión el comportamiento, pero todavía lo suficientemente eficiente para funcionar dentro del tiempo estricto y según las restricciones de tamaño del código. La formulación simbólica del modelo y la generación de código optimizado, son técnicas utilizadas en el presente trabajo.

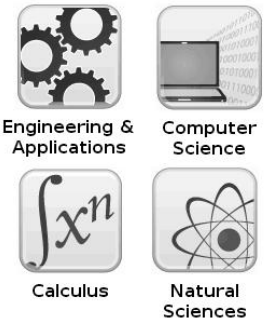


Figura 3. Aplicaciones generadas por maple y maplecloud

Math Apps

Son aplicaciones generadas por Maple y MapleCloud, un servicio de Maplesoft que hace que sea fácil de compartir documentos inteligentes de Maple, incluso con personas que no tienen Maple, sus estudiantes y sus colegas pueden utilizar aplicaciones interactivas y verlos en MapleCloud usando un navegador web (figura 3).

Usaremos el programa de cálculo simbólico Maple 2015; en especial los paquetes computacionales de VectorCalculus, LinearAlgebra y Physics; primordialmente aquellos comandos que permitan solucionar nuestros problemas de aplicaciones para ingeniería [3].

MATERIALES Y MÉTODOS

Diagrama de Bloques

Una vez que hemos elegido el sistema mecánico ahora es necesario diseñar el diagrama de bloques (figura 4); para observar los criterios de entrada, salida y si existieran algoritmos base para su funcionamiento [6].

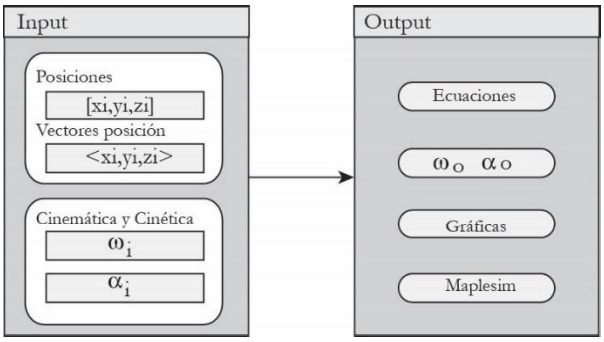


Figura 4. Diagrama de bloques

Los diagramas de bloques son lo primero que debemos hacer para ver si es posible automatizar nuestro modelo mecánico [5]; consiste en agrupar y seleccionar las variables intervinientes, para de esta manera elegir correctamente los componentes del programa y NO malograr las relaciones de objetos.
Esto es muy importante tanto para obtener soluciones sostenibles en el tiempo como para ser aplicados en diferentes sistemas semejantes a los mostrados en este trabajo.

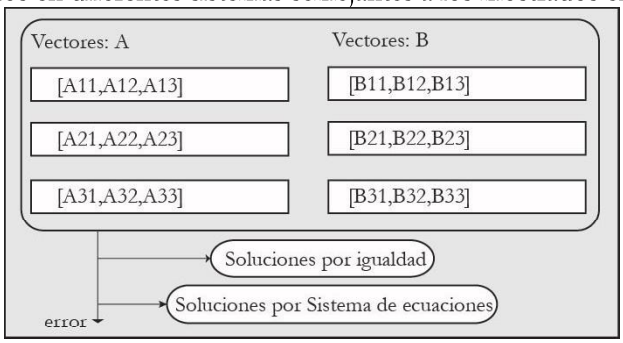


Figura 5. Algoritmo base

El algoritmo base (figura 5) debe integrarse con una totalidad natural a la aplicación, pero NO debe entenderse que será igual para los diferentes casos.

Aquí mostraremos que el algoritmo base debe formar parte de un diagrama de bloques; el cual nos llevará a la solución inmediata (figura 6).

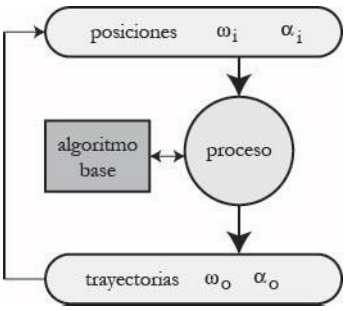


Figura 6. Diagrama del algoritmo de bloques

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los cálculos que se encuentran en el corazón de prácticamente cada proyecto de ingeniería, el cálculo simbólico permite obtener resultados muy precisos, elimina la necesidad de simplificar los problemas a mano, y da una idea de la estructura de su problema; pudiendo desarrollar conjeturas y conclusiones sobre el comportamiento.

Para el modelado y simulación del presente trabajo, los cálculos simbólicos son una de las tecnologías que definen la próxima generación de técnicas de modelado. Proporciona la flexibilidad para desarrollar modelos de forma rápida, ofrece incomparables oportunidades para el análisis y la optimización de los diseños, y produce código de simulación extremadamente rápido y sin sacrificar la fidelidad.
Debido a que las herramientas proporcionan el acceso a las ecuaciones subyacentes que representan el comportamiento físico de su diseño, podemos desarrollar personalizadas aplicaciones de análisis paramétricos.

Al aprovechar el poder de la tecnología de los componentes cuando se trata de diseño de ingeniería, Maplesoft le da la capacidad para reducir el desarrollo de riesgo, creando mejores productos, y traer esos productos al mercado más rápidamente.
Como resultados finales observamos que todo lo anteriormente desarrollado resulta en una hoja dinámica (figura 8). Una hoja dinámica es aquella que da solución en tiempo real y utilizando variación de parámetros en los componentes a problemas de ingeniería; pudiendo interactuar utilizando diferentes valores numéricos. En el siguiente gráfico mostramos los componentes a utilizar (figura 7):

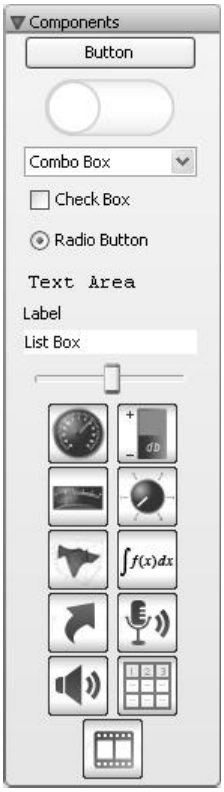


Figura 7. Componentes a utilizar en la hoja dinámica

Como medio de visualización global utlizaremos un Math Apps que nos brinda la empresa Maplesoft a través de MapleCloud; es decir, podemos ejecutar las órdenes en línea usando la web.

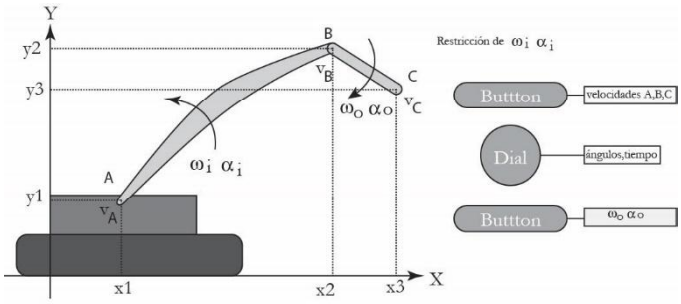


Figura 8. Hoja dinámica

En la figuras 9 y 10 observamos la propuesta ya concluida de una hoja dinámica diseñada y realizada en Maple 2015.

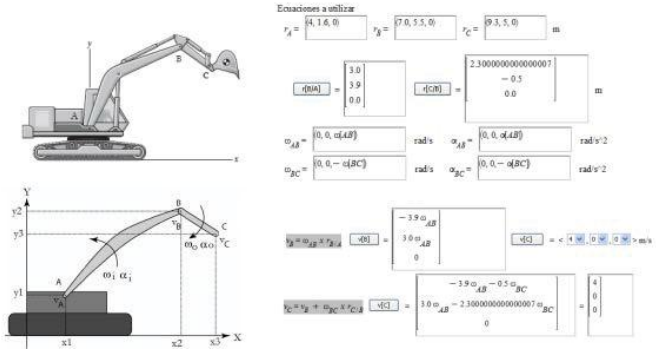


Figura 9. Hoja dinámica de diseño 1

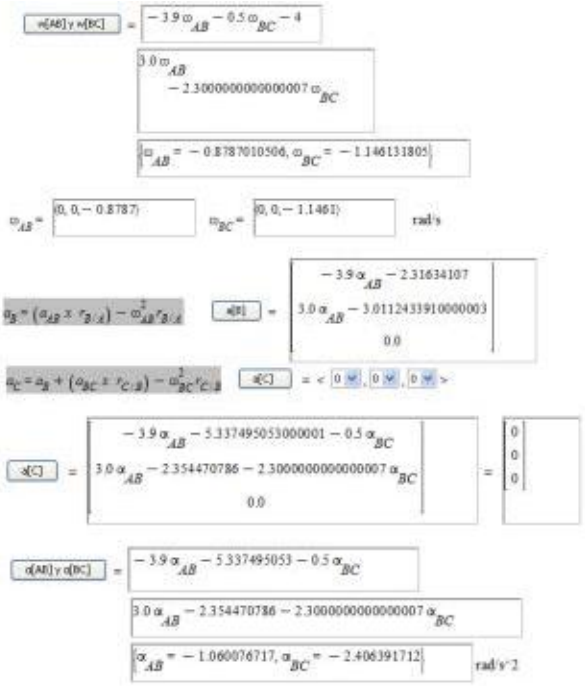


Figura 10. Figura 9. Hoja dinámica de diseño 2

CONCLUSIONES

Al utilizar parámetros simbólicos en su problema, puede aplazar cálculos numéricos hasta que se necesiten. Los parámetros se llevan luego a través de cada etapa en su análisis, por lo que es fácil de hacer parámetro-barridos, optimizar los valores y estudiar el comportamiento del sistema.

Ahorramos el tiempo de cálculo en los diferentes procesos y desde luego predecimos

la dinámica de sistemas más complejos.
Se aplica para los estudios en Ingeniería Civil y Mecánica, por tanto también para la investigación de nuevos mecanismos.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad César Vallejo, en especial a la Escuela de Ingeniería Civil y a sus distinguidas autoridades.

REFERENCIAS

[1] Russell Charles Hibbeler. 2016. "*Dynamics", Engineering Mechanics*, Pearson, Fourteenth Edition, USA.

[2] Ziya Şanal. 2015. "*Mathematik für Ingenieure*", Grundlagen – Anwendungen in Maple, Springer Vieweg, Tercera Edition, Istanbul.

[3] Frank E. Harris. 2014. "*Mathematics for Physical Science and Engineering*", Symbolic Computing Applications in Maple and Mathematica, El Sevier, Primera Edition, USA.

[4] James Stewart. 2015. "*Calculus*", Early Transcendentals, Cengage, Eighth Edition, USA.

[5] Dara W. Childs Andrew P. Conkey. 2015. "*Dynamics in Engineering Practice*", Engineering Mechanics, CRC Press, Eleventh Edition, USA.

[6] Angela B. Shiflet and George W. Shiflet. 2014. "*Introduction to Computational Science*", Modeling and Simulation for the Sciences, Princeton University Press, Second Edition, USA.

Math Apps – MapleCloud – Maplesoft
http://maplecloud.maplesoft.com/application.jsp?appId=5671169822818304
http://maplecloud.maplesoft.com/application.jsp?appId=4922624173932544
http://maplecloud.maplesoft.com/application.jsp?appId=5730163388055552
http://maplecloud.maplesoft.com/application.jsp?appId=5663865996050432
http://maplecloud.maplesoft.com/application.jsp?appId=178355006
Post – Mapleprimes – Users
http://mapleprimes.com/users/Lenin%20Araujo%20Castillo
Maplesoft
http://www.maplesoft.com/products/maple/professional/
http://www.maplesoft.com/products/Maple/features/
http://www.maplesoft.com/products/maple/new_features/
http://www.maplesoft.com/products/maple/compare/
http://www.maplesoft.com/products/maplesim/

Correspondencia

Lenin Araujo Castillo
physicsleninac@hotmail.com