



UNIVERSIDAD
CENTRAL
DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

INGENIO

Vol.III, N°1, 2020 / ISSN:2588-0829

e-ISSN:2697-3243



INGENIERÍA, INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN

Autoridades:

Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph.D.
Rector de la Universidad Central del Ecuador

Ing. Cecilia Flores Villalva, MSc.
Decana, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática-FICFM

Ing. Flavio Arroyo Morocho, MSc.
Subdecano, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática-FICFM

Consejo Editorial:

Ing. Cecilia Flores Villalva, MSc., Presidenta, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Flavio Arroyo Morocho, MSc., Subdecano, FICFM-Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Inf. César Morales Mejía, M. Ed., Editor, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Abel Remache Coyago, MSc., Editor Académico, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Paulina Viera Arroba, MSc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dr. Jhohannes Pittz, MA., MIB., Ph.D. (c), Miembro, EU Business School Munich, ALEMANIA
Dra. Teresa Magal-Royo, Ph.D., Miembro, Universidad Politécnica de Valencia, ESPAÑA
Dr. Andrés Vivas Albán, Ph.D., Miembro, Universidad del Cauca, COLOMBIA
Dr. Boris Heredia Rojas, Ph.D., Miembro, Universidad del Norte, CHILE
Dr. Jaime Duque Domingo, Ph.D., Miembro, Universidad de Valladolid, ESPAÑA
Dr. Giovanni Herrera Enríquez, Ph.D., Miembro, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Dr. José Luis Paz, Ph.D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Jesús López Villada, Ph.D., Miembro, Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Dr. Michel Vargas, Ph.D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Andrés Robalino-López, Ph.D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR

Consejo Asesor y Evaluador:

Ing. Christian Chimbo, MSc., Universidad de las Américas-UDLA, ECUADOR
Ing. José Toscano, MSc., Universidad de las Américas-UDLA, ECUADOR
Ing. Omar Flor, MSc., Universidad de las Américas-UDLA, ECUADOR
Ing. Jorge Luis Rosero, MSc., Universidad de las Américas-UDLA, ECUADOR
Ing. Gustavo Moreno, MSc., Instituto Superior Kachariy, ECUADOR
Ing. Jaime Molina, MSc., Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Ing. Paola Villaba, MSc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Carlos Páez, MSc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dis. Xavier Basantes, MSc., Pontificia Universidad Católica del Ecuador, ECUADOR
Ing. Daniel Loza, MSc., Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Dis. Juan Francisco Fruci, MSc., Universidad de las Américas-UDLA, ECUADOR

Revista Ingenio:

Fundada en el año 2017

Este número estuvo bajo la coordinación editorial de Ing. Inf. César Morales Mejía, M.Ed., editor académico

Ing. Abel Remache, MSc., asistente Tec. Tatiana Freire

Diseño de Portada:

Jonathan Morales, Ingeniería en Diseño Industrial, Universidad Central del Ecuador

Diagramación:

Ing. Christian Echeverría, Editorial Universitaria, Universidad Central del Ecuador

Sitio web:

<http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/index>

Correo electrónico:

fing.revista.ingenio@uce.edu.ec - revistaingenio.uce@gmail.com

ISSN impresa 2588-0829

ISSN electrónica 2697-3243

ÍNDICE

Influencia de la interacción (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos	5
<i>Morales L., Espinosa A.</i>	
Tecnologías de fabricación y su influencia en el Diseño Industrial	27
<i>Jácome P., Valverde C.</i>	
El rol de la movilidad sostenible en el DM de Quito	37
<i>Arroyo F., Remache A.</i>	
Volante de inercia: sistemas y materiales aplicados en medios de transporte de pasajeros	47
<i>Remache A.</i>	
El Proceso del Diseño Industrial como herramienta de la gestión de la empresa.....	71
<i>Arroyo F., Bravo D.</i>	
Diseño Industrial en el Ecuador: Importancia, Historia y Oportunidades	84
<i>Guanoluisa R., Bravo D.</i>	
Normas para publicar en la revista	104

La Revista INGENIO es el órgano de divulgación especializada de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador; su objetivo es la difusión de investigaciones técnicas y científicas en los campos de Ingeniería Civil, Ingeniería Informática/Sistemas de Información, Ingeniería en Computación Gráfica/Computación, Ingeniería en Diseño Industrial como en otras ramas de la Ingeniería, Industria y Construcción. Es de periodicidad semestral y está dirigida a personas que esten inmersas tanto en el ámbito académico como industrial y a quienes les pueda interesar conocer de temas e investigaciones que se realizan dentro del ámbito de la revista.

La revista INGENIO utiliza el Open Journal Systems (OJS) como sistema de gestión editorial, desarrollado por Public Knowledge Project (PKP). Todos los manuscritos a ser considerados para publicación deben ser enviados a través de este sistema.



Los artículos de la revista INGENIO usan el sistema DOI el cual proporciona una infraestructura técnica y social para el registro y uso de identificadores interoperables persistentes, llamados DOI, para su uso en redes digitales.



Revista INGENIO se encuentra adscrita a Google Académico que es un buscador de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y bibliografía científico-académica.



Influencia de la interacción suelo estructura (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo

Influence of The Soil Structure Interaction (Ise) on Surface Foundations and Cohesive Soils In The Structural Behavior of an Eight-Story Basement Building

Morales L.¹; Espinosa A.²

1 Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Quito, Ecuador
e-mail: lwmorales@uce.edu.ec

2 Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Quito, Ecuador
e-mail: alejandrostead@hotmail.com

Información del artículo

Recibido: febrero 2020

Aceptado: marzo 2020

RESUMEN

Se comparan periodos de vibración y derivas de pisos obtenidos de modelos tradicionales con base rígida (empotramiento perfecto), y otros, donde el suelo se representa con funciones de impedancia y, directamente mediante elementos finitos no lineales (método directo). Se usa como proyecto base una edificación de ocho niveles y un subsuelo, que interactúa con un suelo no cohesivo blando. Para las cargas sísmicas se consideraron: el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y el de sitio, que corresponde de acuerdo con la ubicación del proyecto, al generado por el segmento de la falla de Quito denominado Puengasí. Adicionalmente, se usan historias en el tiempo escaladas de acuerdo con el espectro de sitio. El comportamiento no lineal de la estructura se logra por medio de rótulas plásticas. Se observa que el modelo que incluye interacción mediante funciones de impedancia varía hasta un 45% respecto al de base rígida, sin embargo, da resultados conservadores respecto al método directo.

Palabras clave: *interacción suelo estructura, espectro de respuesta, periodo de vibración de la estructura y derivas de piso.*

ABSTRACT

Vibration periods and floor drifts are obtained from traditional models with a rigid base (perfect embedment), and others, where the floor is represented with impedance functions and, directly by finite non-linear elements (direct method). An eight-level building and a subsoil is used as the base project, which interacts with a soft non-cohesive soil. For the seismic loads were considered: the spectrum of the Ecuadorian Standard of Construction and the site, which corresponds according to the location of the project, to the one generated by the segment of the Quito fault called Puengasí. Additionally, time-scaled stories are used according to the site spectrum. The non-linear behavior of the structure is achieved by means of plastic ball joints. It is observed that the model that includes interaction through impedance functions varies up to 45% with respect to the rigid one, however, it gives conservative results with respect to the direct method.

Keywords: *soil structure soil, response spectrum, period of structure vibration and story drifts.*

1. Introducción

Para el diseño estructural de edificaciones se emplean apoyos de base rígida, el cual presenta una rigidez infinita provocando una reducción de los movimientos de entrada de un terremoto, que se traduce en periodos de vibraciones de la estructura menores a los reales. La interacción suelo estructura (ISE) por otro lado considera un apoyo flexible, que genera movimientos de entrada más reales.

Modelar a la cimentación como empotramiento perfecto es una simplificación de la ISE y considera que el suelo es rígido. Un suelo es rígido dependiendo del valor Vs30 (velocidades de ondas de corte a 30m de profundidad) y la clasificación propuesta por [1] es empleada por muchos códigos de sismo resistencia.

Tabla 1. Clasificación de perfiles de suelos

Tipo	Descripción	Vs30 m/s
A	Roca rígida	>1500
B	Roca de rigidez media	760 a 1500
C	Suelos muy densos o roca	360 a 760
D	Suelos rígidos	180 a 360
E	Arcillas blandas	<180
F	Suelos especiales	

En suelos blandos y especiales conlleva un error el modelar a la cimentación como empotramiento perfecto, todo esto debido a que los valores del módulo cortante máximo y secante (Gmax y Gsec) son pequeños. Una manera fácil de estimarlos es mediante la siguiente ecuación:

$$G_{max} = \frac{\rho V_s^2}{g} \tag{1}$$

$$G_{sec} = \frac{G}{G_{max}} G_{max} \tag{2}$$

Donde:

- Gmax : Módulo de corte máximo
- ρ : Densidades del suelo
- Vs : Velocidad de ondas de corte

G/Gmax puede estimarse de igual manera en función de la clasificación del perfil de suelos [2].

Tabla 2. Tabla de Módulo cortante efectivo G/Gmax

Tipo	Pico de aceleraciones efectivas PGA (a)			
	PGA=0	PGA=0.1	PGA=0.4	PGA=0.8
A	1	1	1	1
B	1	1	0.95	0.9
C	1	0.95	0.75	0.6
D	1	0.9	0.5	0.1
E	1	0.6	0.05	(b)
F	(b)	(b)	(b)	(b)

(a) Use interpolación lineal para valores intermedios de PGA.

(b) Se realizarán investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis dinámicos.

Gmax y Gsec se obtienen directamente de ensayos cíclicos de suelos como triaxiales, ensayos de corte directo, ensayos de corte torsional y columna resonante.

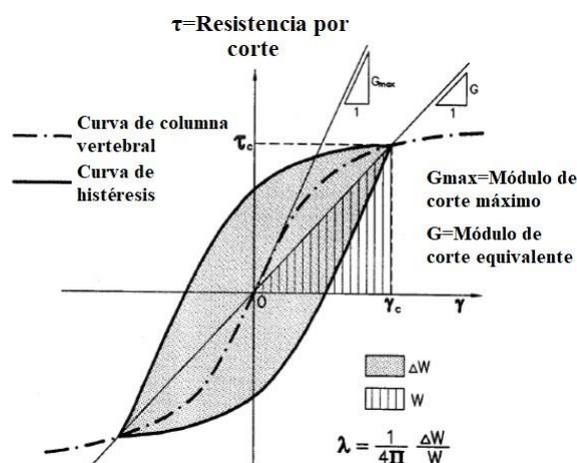


Figura 1. Curva histéresis del suelo

1.1 Método de la subestructura - Modelo B

El método de la subestructura se basa en representar a la cimentación como un apoyo rígido o por medio de resortes.

El análisis con resortes emplea las funciones de impedancia a partir Pais-Kausel [2]:

$$K_z = \left(\frac{G \cdot B}{2 - \nu}\right) \left(3.1 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.75} + 1.6\right) \quad (3)$$

$$K_y = \left(\frac{G \cdot B}{2 - \nu}\right) \left(6.8 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 0.8 \left(\frac{L}{B}\right) + 1.6\right) \quad (4)$$

$$K_x = \left(\frac{G \cdot B}{2 - \nu}\right) \left(6.8 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 2.4\right) \quad (5)$$

$$K_{zz} = (G \cdot B^3) \left(4.25 \left(\frac{L}{B}\right)^{2.45} + 4.06\right) \quad (6)$$

$$K_{yy} = \left(\frac{G \cdot B^3}{1 - \nu}\right) \left(3.73 \left(\frac{L}{B}\right)^{2.4} + 0.27\right) \quad (7)$$

$$K_{xx} = \left(\frac{G \cdot B^3}{1 - \nu}\right) \left(3.2 \left(\frac{L}{B}\right) + 0.8\right) \quad (8)$$

$$C_z = \frac{2K_z(0.05 + \beta_z)}{w} \quad (9)$$

$$C_y = \frac{2K_y(0.05 + \beta_y)}{w} \quad (10)$$

$$C_x = \frac{2K_x(0.05 + \beta_x)}{w} \quad (11)$$

$$C_{zz} = \frac{2K_{zz}(0.05 + \beta_{zz})}{w} \quad (12)$$

$$C_{yy} = \frac{2K_{yy}(0.05 + \beta_{yy})}{w} \quad (13)$$

$$C_{xx} = \frac{2K_{xx}(0.05 + \beta_{xx})}{w} \quad (14)$$

Donde:

- G : Gsec
- B : Base de la cimentación
- L : Largo de la cimentación

- C : Amortiguamiento
- β : Amortiguamiento por radiación
- ν : Coeficiente de Poisson
- K : Rigidez

1.2 Método directo de ISE-Modelo C

Para emplear este método es necesario escoger un modelo de elasto-plasticidad adecuado del suelo. El modelo Hardening Soil with small-strain stiffness HSSMALL se ajusta al tipo de suelo encontrado en las investigaciones de campo y es necesarios definir los siguientes parámetros:

- m : Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos.
- E_{50}^{ref} : Módulo elasticidad secante en ensayos triaxiales.
- E_{eod}^{ref} : Módulo de elasticidad tangente para carga primaria del ensayo edométrico.
- E_{ur}^{ref} : Rigidez de carga y descarga en ensayos triaxiales cíclicos
- ν_{ur} : Relación de Poisson para carga y descarga.
- G_0^{ref} : Módulo de corte máximo en deformaciones muy pequeñas
- $\gamma_{0.7}$: Tensión de corte de umbral en la que $G=0.722G_0$ (15).

Según [3, p. 52] este parámetro se define graficando $\ln E_{50}$ versus $\ln \left(\frac{c \cdot \cot \phi - \sigma_3}{\sigma_{ref} + c \cdot \cot \phi}\right)$, σ_{ref} por defecto tiene un valor de 100KPa (1.02kg/cm²).

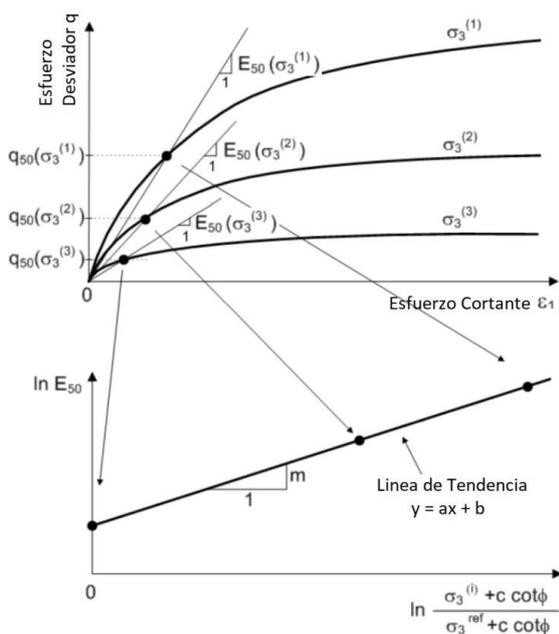


Figura 2. Determinación de m en función de los resultados de un ensayo triaxial

Donde:

$$\sigma_3^{(1)}, \sigma_3^{(2)}, \sigma_3^{(3)} \quad (15)$$

Curva Esfuerzo - Deformación del suelo para diferentes presiones de confinamiento.

Definido el parámetro m y E_{50} se procede a calcular E_{50}^{ref} mediante la siguiente expresión, la cual ha sido tomada directamente de los creadores de este modelo 1 [4, p. 2].

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cot \phi - \sigma_3}{\sigma_{ref} + c \cdot \cot \phi} \right)^m \quad (16)$$

El parámetro E_{eod}^{ref} si se cuenta con un ensayo edométrico se calcula directamente mediante:

$$E_{oed} = \frac{2.3(1 + e_{ref})}{Cc} \sigma_{eod}^{ref} \quad (17)$$

e_{ref} Representa a la relación de vacíos asociada a la presión de preconsolidación que los textos de mecánica de suelo normalmente la denominan σ_m , Cc es el índice de compresibilidad que se obtiene de un ensayo edométrico, definido E_{oed} se lo referencia a un estado de presiones mediante:

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \phi - \frac{\sigma_3}{K_o^{nc}} \text{seno} \phi}{c \cdot \cos \phi + \sigma_{ref} \cdot \text{seno} \phi} \right)^m \quad (18)$$

El valor de E_{ur}^{ref} se lo puede estimar mediante el índice de hinchamiento (Cs) del ensayo edométrico mediante la siguiente ecuación:

$$C_s \approx \frac{2.3(1 + e_0)(1 + \nu)(1 - 2\nu)\sigma_{ref}}{(1 - \nu)E_{ur}^{ref}} \quad (19)$$

El valor del coeficiente de poisson ν se lo puede definir directamente mediante el coeficiente de reposos del suelo K_o^{nc} también se puede definir en base a una relación elástica entre el módulo de Young que está definido por E_{50} mediante E_{50} donde G representa módulo de corte E_{50}

$$K_o^{nc} = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (20)$$

$$E_{50} = 2G(1 + \nu) \quad (21)$$

$$E_{50} = \frac{8}{3}G \quad (22)$$

Con el fin de garantizar cálculos realistas el módulo de volumen del agua debe ser alto en comparación con el módulo de volumen del esqueleto del suelo. Esta condición está suficientemente asegurada al requerir $\nu \leq 0.35$ [5, p. 24].

El K_o no se calcula de la misma manera para todos los tipos del suelo para arcillas normalmente consolidadas k_o y para suelos de granos gruesos sobre consolidados k_o , esto según los propios autores de las formulaciones [6] y [7] respectivamente. Hay que tomar en consideración que K_o no puede ser mayor que 1.

$$k_o = 1 - \text{seno} \phi \quad (23)$$

$$k_o = (1 - \text{seno} \phi) OCR^{\text{Sen} \phi} \quad (24)$$

Para suelos granulares ν_{ur} se obtiene directamente mediante E_o , si no se cuenta con ensayos cíclicos lo más práctico es emplear correlaciones para definir dichos parámetros. Uno de los parámetros se calcula mediante G_o [2, p. 132], donde V_s es la velocidad de ondas de corte. El parámetro E_o para todos tipos de suelos para humedades naturales menores al 50% según [8] se puede calcular mediante:

$$E_o = 2(1 + \nu_{ur})G_o \quad (25)$$

$$G_o = \frac{\rho V_s^2}{g} \quad (26)$$

$$E_o = \frac{140}{e_o} \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{ref}} \right)^{0.5} \text{ MPa} \quad (27)$$

Por lo tanto $G_0 = G_0^{ref} \left(\frac{c \cdot \cot \phi - \sigma_3}{\sigma_{ref} + c \cdot \cot \phi} \right)^m \quad (28)$

El ángulo de dilatación se puede obtener mediante [3, p. 107].

$\psi=0$ Para suelos normal y ligeramente consolidados

$\psi = \frac{\phi}{6}$ Para suelos sobre consolidados

$\psi = \frac{\phi}{5}$ Para suelos fuertemente sobre consolidados

La interfaz por otro lado se emplea para simular la rigidez virtual que se genera entre el suelo y la cimentación y cuyo cálculo se lo realiza a partir de las siguientes ecuaciones [26, p.189]

$$Kn = \frac{E_{oed}}{L \cdot tv} \quad (29)$$

$$Kt = \frac{Gi}{L \cdot tv} \quad (30)$$

$$Gi = R \cdot G_{soil} \quad (31)$$

$$G_{soil} = \frac{E}{2(2+\nu_i)} \quad (32)$$

Donde:

E_{oed} : Es el módulo de elasticidad de ensayos edométricos

ν_i : Coeficiente de Poisson de la interfaz, cuyo valor recomendado es de 0.45

L : es la longitud de análisis, que por default se le asigna 1m

tv : Es el espesor virtual de la interfaz (Generalmente tiene un valor entre 0.01 ~ 0.1, cuanto mayor sea la diferencia de rigidez entre el suelo y la estructura, menor será el valor)

R : Factor de reducción estructural cuyos valores son:

Arena/Acero	=	0.6 – 0.7
Arcilla/Acero	=	0.5
Arena/Hormigón	=	0.80-1.00
Arcilla/Hormigón	=	0.70-1.00

2. Desarrollo

La ubicación del proyecto está en las coordenadas:

Este: 779965.05E

Sur: 9963229.87S.



Figura 3. Ubicación de Google Earth del lugar de investigación

Se realizaron 5 sondeos SPT en los cuales se extrajeron muestras inalteradas para la ejecución de 4 ensayos triaxiales y un ensayo de consolidación. Además, se realizaron ensayos geofísicos como el VS30 y periodos de vibración natural del depósito por el método [9].

Nakamura propone un método para la estimación de características dinámicas de las capas superficiales utilizando Micro tremores en la superficie, siendo el micro tremor aquel movimiento registrado en el suelo de corto periodo accionado por fuerzas artificiales, en esta investigación se observó que el tremor horizontal se ve amplificado a través de la multireflexión de la onda S mientras que el tremor vertical es a través de la reflexión de la onda P, dando como resultado que la relación de los espectros horizontales y verticales del micro tremor es una función de transferencia aproximada [9].

Los resultados de los ensayos triaxiales en términos efectivos son los siguientes:

Tabla 3. Resultados ensayos triaxiales

Pozo	Prof. (m)	γ_h/γ_{sat} (T/m ³)	γ_s (T/m ³)	σ c (kg/cm ²)	
				Efec	Efec
Pz5	0.5-1.5	1.83	1.42	8.66	0.29
Pz5	1.5-2.5	1.83	1.34	7.03	0.21
Pz5	2.5-3.5	1.74	1.28	5.14	0.18
Pz4	4.5-5.5	1.79	1.31	6.11	0.177

Los resultados del ensayo edométrico son los siguientes:

Tabla 4. Resultados ensayos de consolidación

RESULTADOS				
$\gamma_h =$	1.75	Presión	e1	K (cm/seg)
		(kg/cm²)		
$\gamma_s =$	1.37	0.51	0.551	1.18E-06
$C_c =$	0.134	1.02	0.536	3.93E-07
$C_r =$	0.078	2.04	0.513	5.55E-07
$C_s =$	0.014	4.08	0.482	4.42E-07
$eo =$	0.59	8.15	0.442	1.43E-07
σ_m (kg/cm ²) =	3.14			
σ_o (kg/cm ²) =	0.79			
OCR =	4			

Para estimar el Vs30 se empleó el método combinado ReMi/MASW y cuyos valores se reportan a continuación:

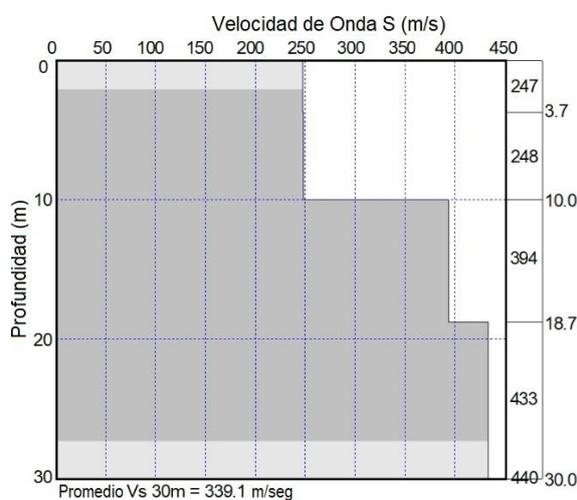


Figura 4. Valores de velocidades de ondas de corte Vs combinados

Se ha estimado un valor de $V_{s30} = 339\text{m/seg}$

Mientras que el cociente espectral H/V del método Nakamura ha estimado un valor de Periodo=0.978Hz=1.022seg.

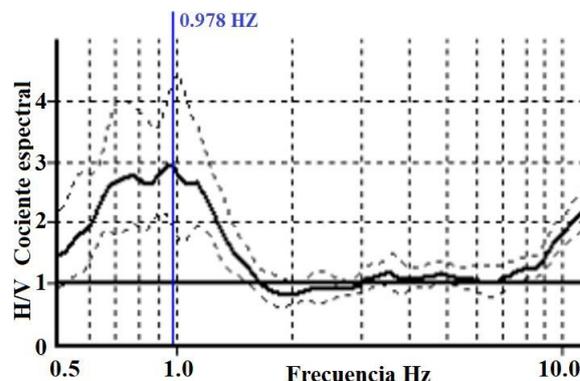


Figura 5. Espectro de cocientes espectrales H/V.

2.1 Espectro de sitio

2.2 A partir de la NEC-15

El análisis se desarrolla en el Cantón Quito, para una estructura de hormigón Armado, para una velocidad de ondas de corte de 339m/seg, aplicando la [24] se tiene:

Tabla 5. Coeficientes sísmicos

CARGA DE SISMO-NEC-SE-DC		
Parámetro	Valor	Unidad
Coefficiente $C_t =$	0.055	
Coefficiente para cálculo de Periodo $\alpha =$	0.9	
Periodo Natural de Vibración $T_1 =$	1.24	seg
Periodo Natural de Vibración Máxima $T_2 =$	1.62	seg
Factor de importancia $I =$	1	
Factor de reducción de respuesta $R =$	8	
Relación de amplificación espectral $n =$	2.48	
Zona Sísmica =	V	ALTA
Factor de Zona $Z =$	0.4	
Tipo de suelo =	D	
Factor de sitio $F_a =$	1.2	
Factor de Sitio $F_d =$	1.19	

Parámetro	Valor	Unidad
Factor comportamiento no lineal $F_s=$	1.28	
Periodo $T_c =$	0.70	
Factor $r=$	1	
Periodo $T_L=$	2.86	
Periodo Modelo ($T_{mod}=$	1.2445	
Aceleración espectral $S_a=$	0.67	g
Factor irregularidad en Planta $\Phi_p =$	1	
Factor irregularidad en elevación $\Phi_E =$	1	
Factor de reducción ($f=$	0.1250	
Factor k	1.37	

Los coeficientes sísmicos de la tabla 3, permiten realizar el gráfico del espectro, el cual se encuentra representado en la gráfica 2.

2.3 A partir del segmento de falla de Quito

La falla de Quito se divide en ocho segmentos, se ha optado por estimar los espectros a partir de la data base del PEER [10].

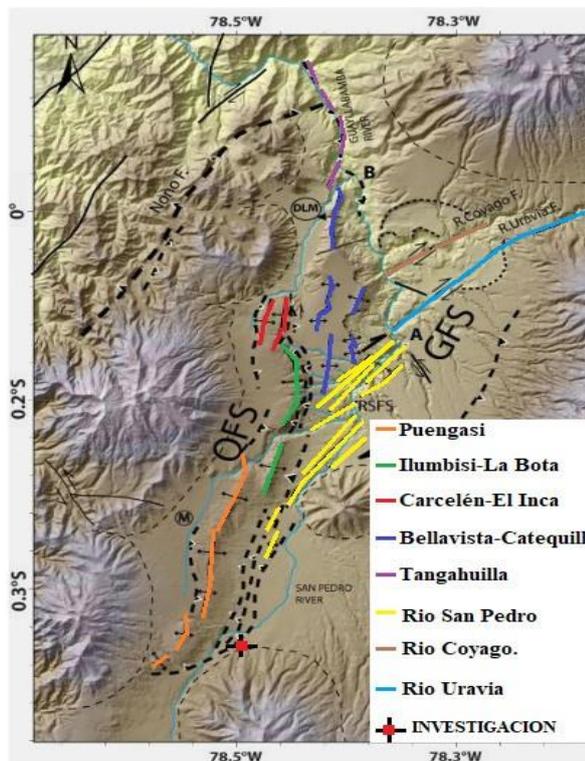


Figura 6. Segmentos de falla de Quito, modificado de [11]

Para facilitar el uso de tablas se abrevia Puengasí por P, Ilumbisí-La Bota por ILB, Carcelén-El Inca por CEI, Bellavista-Catequilla por BC, y Tangahuilla por T.

La data base del PEER emplea los modelos de atenuación que tratan de describir el efecto que sufre una onda sísmica, al momento de desplazarse sobre la corteza terrestre, y se requieren varios parámetros para su cálculo como:

- M_w Magnitud de momento
- R_{RUP} Distancia más cercana del sitio al plano de falla en km
- R_X Distancia horizontal más cercana al borde superior del plano de falla medido en forma perpendicular desde la dirección del rumbo en km
- R_{JB} Distancia horizontal más cercana a la proyección del plano de falla en la superficie en Km
- R_{YO} es la distancia horizontal desde el final de la ruptura medida paralelamente
- Z_{tor} Profundidad hasta el borde superior del plano de ruptura en Km
- W Ancho de la falla en Km
- $Dip \delta$ Angulo de buzamiento promedio del plano de ruptura en grados
- $Rake \lambda$ Angulo entre la dirección de deslizamiento en el plano de falla y la orientación de la falla en la superficie
- V_{S30} Velocidades de ondas de corte a 30m de profundidad m/seg
- $Z_{1.0}$ Profundidad a la que la velocidad de la onda de corte es $V_s=1.0\text{Km/seg}$
- $Z_{2.5}$ Profundidad a la que la velocidad de la onda de corte es $V_s=2.5\text{Km/seg}$
- Z_{hyp} Profundidad hipocentral del sismo en km

La referencia de las fórmulas empleadas se las puede encontrar en [12]:

$$\dot{N}_{Min} = \frac{Mo \cdot (d - \beta) [e^{-\beta(Mmin)} - e^{-\beta(Mmax)}]}{\beta [e^{-\beta(Mmax)} Mo_{max} - e^{-\beta(Mmin)} Mo_{max}]} \quad (33)$$

$$N(\dot{m}) = N_{Min} \left[\frac{e^{-\beta(m)} - e^{-\beta(Mmax)}}{e^{-\beta(Mmin)} - e^{-\beta(Mmax)}} \right] \quad (34)$$

$$d = 1.5 \ln(10) = 3.454 \quad (35)$$

$$Tr = \frac{1}{N_{(m)}} \quad (36)$$

$$\beta = 1.47$$

El valor de β , representa al parámetro de relación Gutenberg-Richter, defino por [13].

La tasa de acumulada de sismos con GR Modificada se aprecia en la siguiente gráfica:

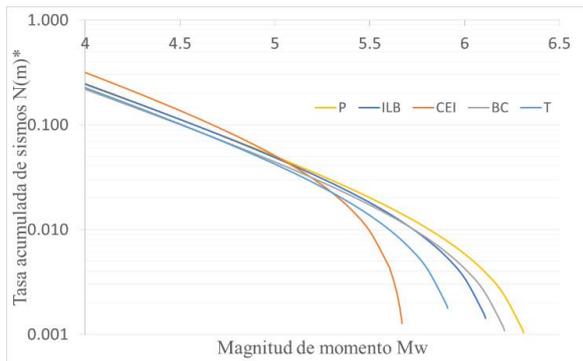


Figura 7. Tasa acumulada de sismos mediante GR modificada

Según [14], se debe asumir que el hipocentro se encuentra en el centroide del plano.

Los parámetros que se indican a continuación se pueden determinar de acuerdo con [15] y [16].

$$Z_{HYP} = \begin{cases} 5.63 + 0.68Mw & \text{fallas tipo Strike slip} \\ 11.24 + 0.2Mw & \text{f. que no son strike slip} \\ 7.08 + 0.61Mw & \text{fallas generales} \end{cases} \quad (37)$$

$$W = \begin{cases} 10^{-0.76+0.27Mw} & \text{fallas tipo Strike slip} \\ 10^{-1.61+0.41Mw} & \text{f. que no son strike slip} \\ 10^{-1.14+0.35Mw} & \text{fallas generales} \end{cases} \quad (38)$$

$$Z_{TOR} = \max[(Z_{HYP} - 0.6Wx\text{sen}\delta), 0] \quad (39)$$

Sabiendo que se ha asumido un ángulo $\alpha = -50^\circ$ y que se encuentra entre $-180^\circ \leq \alpha < 0^\circ$, la distancia Rx se calcula como:

$$Rx = -R_{JB}x\text{sen}\alpha \quad (40)$$

La distancia Rrup para ángulos $\delta \neq 90^\circ$, se debe calcular como:

$$R_{RUP} = \sqrt{(R_{RUP}')^2 + Ry^2} \quad (41)$$

$$R_{RUP}' = \sqrt{Rx^2 + Z_{TOR}^2} \quad (42)$$

$$R_{RUP}' = Rx\text{sen}\delta + Z_{TOR}\text{cos}\delta \quad (43)$$

$$R_{RUP}' = \sqrt{(Rx - W\text{cos}\delta)^2 + (Z_{TOR} - W\text{sen}\delta)^2} \quad (44)$$

$$\text{si } Rx^2 < +Z_{TOR}\text{tan}\delta \quad (45)$$

$$\text{si } Z_{TOR}\text{tan}\delta \leq Rx \leq Z_{TOR}\text{tan}\delta + W\text{sec}\delta \quad (46)$$

$$\text{si } Rx > Z_{TOR}\text{tan}\delta + W\text{sec}\delta \quad (47)$$

$$Ry = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha = \mp 90^\circ \\ R_{JB} & \text{para } \alpha = 0^\circ \text{ o } \mp 180^\circ \\ |Rx \cdot \text{cota}| & \text{para cualquier otro} \end{cases} \quad (48)$$

Según [16], Ry0 solo se debe usar para sitios en el lado HW (Hanging-wall site), en nuestro caso no aplica y el valor Ry=0. El tipo de falla de Quito es Dips-Slip es decir de movimiento vertical.

Z1.0 y Z2.0 se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z_{1.0} = \begin{cases} e^{6.745} & V_{s30} < 180m/s \\ e^{(6.745-1.35\ln\frac{V_{s30}}{180})} & 180 \leq V_{s30} \leq \frac{500m}{s} \\ e^{5.394-4.48\ln\frac{V_{s30}}{500}} & V_{s30} > 500m/s \end{cases} \quad (49)$$

$$Z_{2.5} = 519 + 3.595Z_{1.0} \quad (50)$$

Z1.0: Profundidad a la que la velocidad de la onda de corte es Vs=1.0Km/seg

Z2.5: Profundidad a la que la velocidad de la onda de corte es Vs=2.5Km/seg

El resumen de los valores para encontrar el espectro de respuesta, en base a los modelos de atenuación de [17], [14] y [18], son:

Tabla 6. Resumen para definir el espectro de Puengasí

Segmento	P	ILB	CEI	BC	T
Tipo	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa
Longitud (km)	22	15	7	17.5	12
Área (km²)	259	176	82	191	108
Mw	6.23	6.06	5.65	6.14	5.9
RJB (km)	5.36	10.52	22.87	18.25	37.86
Ángulo α	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00
Zhyp (km)	12.49	12.45	12.37	12.47	12.42
W (km)	8.80	7.49	5.09	8.08	6.44
Rx (km)	-4.11	-8.06	-17.52	-13.98	-29.00
Buzamiento δ°	55	55	55	55	55
ZTOR (km)	8.16	8.77	9.87	8.50	9.25
R RUP' (km)	9.14	11.91	20.11	16.36	30.44
Ryo (km)	3.45	6.76	14.70	11.73	24.34
R RUP (km)	9.77	13.70	24.91	20.13	38.97

El parámetro εpsilon ε, se utiliza para definir el número de desviaciones estándar respecto a la mediana representada por un nivel de movimiento del suelo en particular [19].

Por ejemplo, el espectro de percentil 84 es un espectro donde los niveles de movimiento del suelo son una desviación estándar por encima de la mediana en todos los periodos espectrales y el valor de εpsilon ε=1.

Ingresando todos los parámetros calculados del segmento de falla Puengasí, en la plataforma [10].

Figura 8. Parámetros cargados en la plataforma PEER, para la falla de Puengasí

Se emplea un percentil 84 es un espectro donde los niveles de movimiento del suelo son una desviación estándar por encima de la mediana en todos los periodos espectrales y el valor de εpsilon ε=1. En el siguiente gráfico se presentan los espectros de cada falla junto con el NEC-SE-DS-15.

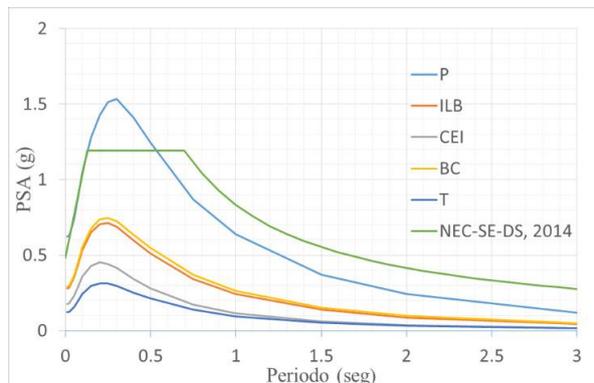


Figura 9. Todos los espectros comparando con la NEC-SE-DS [20]

Para el análisis de ISE, se emplean los espectros de la NEC-SE-DS, 2015 y de Puengasí, ya que son los más críticos.

2.4 Características de la edificación

La dimensión en planta de la estructura es de 20x23m, además cuenta con volados de 2.20m y 2.50m.

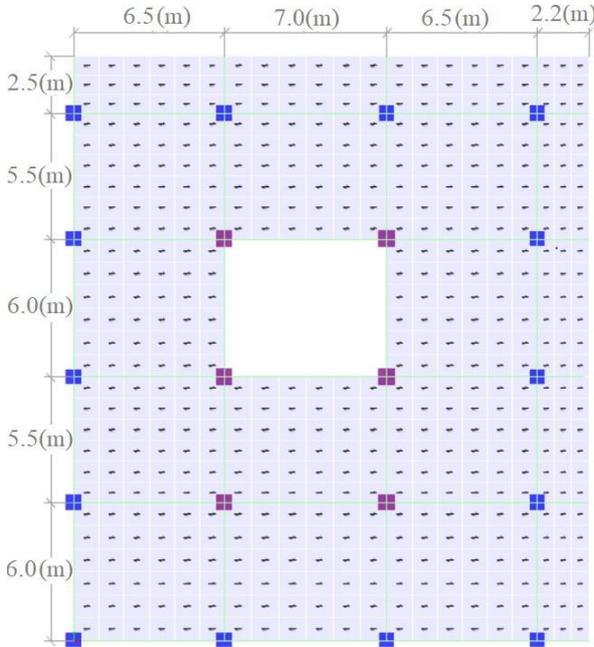


Figura 10. Dimensiones en planta

La edificación es de 8 niveles más un subsuelo, la altura de entre pisos es de 3.24m con excepción de la tapagrada cuya altura es de 3.06m.

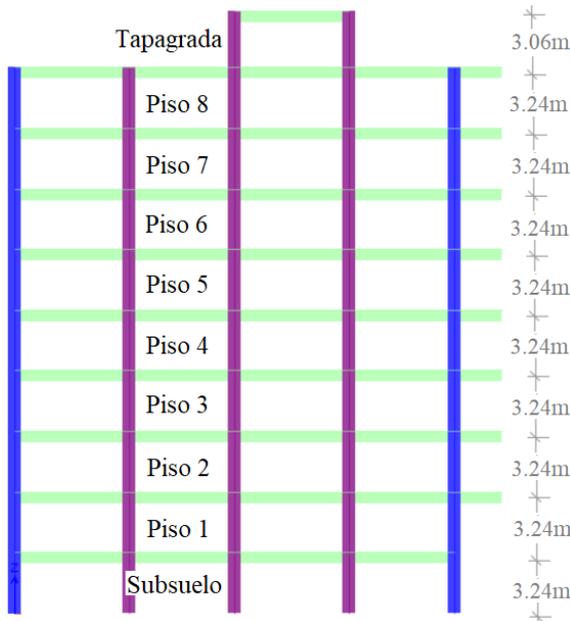


Figura 11. Elevación de la estructura

Es una estructura de hormigón armado con una resistencia a la compresión simple del hormigón $f'c=40\text{MPa}$ y un acero de refuerzo con una resistencia a la fluencia en barras de $Fy=420\text{MPa}$.

Tabla 7. Características del hormigón y acero de refuerzo en barras

Descripción	Hormigón	Acero	Unid.
Peso por volumen	23.5631	76.9729	KN/m ³
Masa por volumen	2402.77	7849.074	Kg/m ³
Módulo de elasticidad	29725.41	199947.98	MPa
Coef. De Poisson	0.2	-	-
Coef. Expa. Termal	0.0000099	0.0000117	I/C
Módulo de corte G	12385.59	-	MPa
Fe	40	-	MPa
Fy	-	420	MPa
Fu	-	620	MPa
Fye	-	455	MPa
Fue	-	683	MPa

En la estructura se definieron columnas de 650x650mm (bordes y esquinas) y de 700x700mm (centrales), vigas de 500x650mm, una cimentación de 500mm, losa de entrepiso maciza de 180mm y muros de sótano de 250m. Cada uno de los elementos con su respectivo valor de inercias agrietadas 0.8 columnas, 0.5 vigas, 0.5 losas y 0.6 para los sótanos [21, p. 54].

2.5 Método de la subestructura

Modelar un edificio con sótanos según la [22, p. 6.7], tiene varias alternativas.

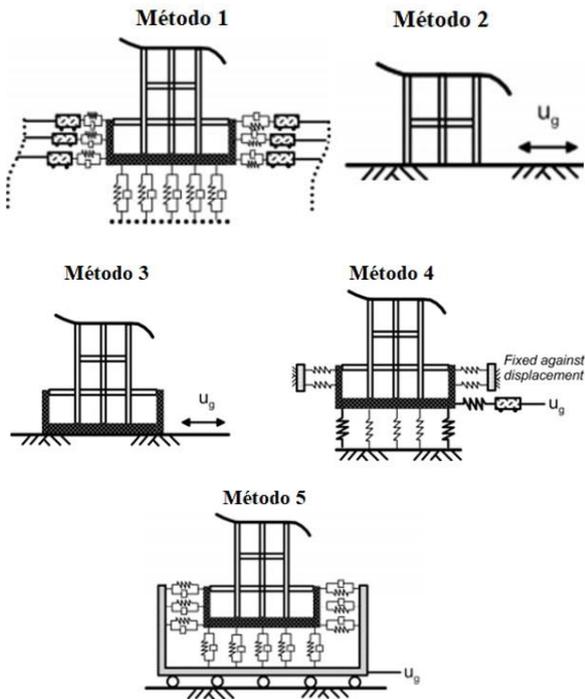


Figura 12. Métodos para modelar estructuras con sótanos

El método 2 (Base rígida), es el más empleado y el que no involucra un análisis de ISE y este método será empleado para comparar los resultados de los otros modelos. El método 4, aunque no contempla todos los parámetros del suelo representa un modelo avanzado ya que involucra la introducción de rigideces mediante las funciones de impedancia que representan al suelo, tanto en la cimentación como en los sótanos.

2.6 Base rígida-Modelo A

Se ingresa los espectros de sitio multiplicando por el factor de reducción de 0.125 de la tabla 5.

En la norma Ecuatoriana de la Construcción-Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente [21], solicita que los espectros de respuesta deben tener al menos un 85% de fuerza basal al comparar con el sismo estático, dicho en otras palabras, los espectros ingresados han sido calibrados para cumplir dicha especificación.

Los periodos de vibración son los siguientes:

Tabla 8. Modos de vibración de la estructura con base rígida

Caso	Modo	Periodo (seg)
Modal	1	1.06
Modal	2	0.98
Modal	3	0.89
Modal	4	0.33
Modal	5	0.31
Modal	6	0.28
Modal	7	0.18
Modal	8	0.17
Modal	9	0.16
Modal	10	0.12
Modal	11	0.11
Modal	12	0.10
Modal	13	0.08
Modal	14	0.08
Modal	15	0.07
Modal	16	0.07
Modal	17	0.07
Modal	18	0.06
Modal	19	0.05
Modal	20	0.05
Modal	21	0.04
Modal	22	0.04
Modal	23	0.03
Modal	24	0.02

Las derivas máximas en X e Y son las siguientes.

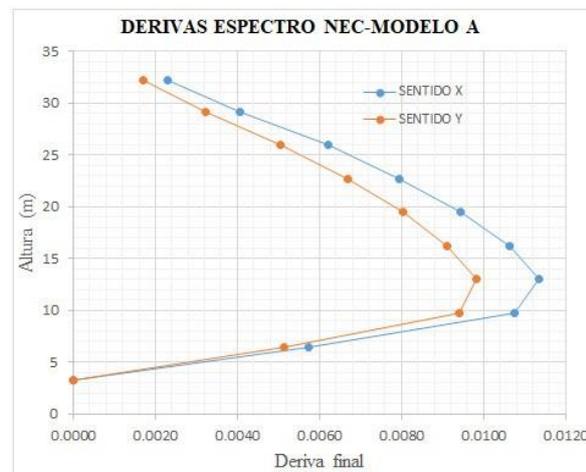


Figura 13. Derivas máximas del Modelo A, con Espectro NEC

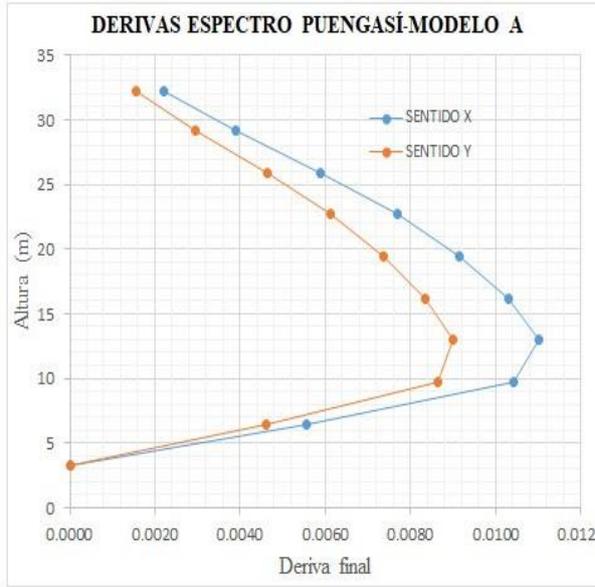


Figura 14. Derivas máximas del Modelo A, con Espectro Puengasí

Según [21, p. 69] las derivas finales se calculan como:

$$\Delta m = 0.75 \times R \times \Delta E$$

Para el espectro NEC se tiene:

$$\Delta x = 0.01136$$

$$\Delta y = 0.00981$$

Para el espectro Puengasí se tiene:

$$\Delta x = 0.01102$$

$$\Delta y = 0.0090$$

2.7 ISE con funciones de impedancia-Modelo B

Lo que trata este modelo es el de representar mediante un sistema lineal equivalente el comportamiento no lineal del suelo asociados a unas deformaciones aceptables, el punto de partida por lo tanto es estimar G_{max} a partir de mediciones de campo como el V_{s30} [2, p. 132].

$$G_{max} = \frac{\rho V_s^2}{g} \quad (51)$$

Donde:

- G_{max} Módulo de corte estimado
- ρ Densidades del suelo
- V_s Velocidades de ondas de corte

De los ensayos triaxiales y las mediciones en campo del peso unitario del suelo, está en el orden de $1.80T/m^3$ y el ensayo V_s tiene un valor de $248m/seg$, para de una profundidad de $-10.0m$ (ver figura 3).

$$G_{max} = \frac{1.80 \text{ T/m}^3 \times (248 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} = 110.76 \text{ MPa}$$

Según ASCE 41 [2, p. 132], el valor de G/G_{max} se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 9. Tabla de Módulo cortante efectivo G/G_{max}

Pico de aceleraciones efectivas PGA (a)				
Tipo	PGA=0	PGA=0.1	PGA=0.4	PGA=0.8
A	1	1	1	1
B	1	1	0.95	0.9
C	1	0.95	0.75	0.6
D	1	0.9	0.5	0.1
E	1	0.6	0.05	(b)
F	(b)	(b)	(b)	(b)

(a) Use interpolación lineal para valores intermedios de PGA

(b) Se realizarán investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis dinámicos de la respuesta del sitio

A este perfil de suelo se lo clasifica como Tipo D y un $PGA=0.4$, donde G_{sec} es:

$$G_{sec} = 0.5 \times G_{max} = 0.5 \times 110.76 \text{ MPa} = 55.38 \text{ MPa}$$

El procedimiento para el cálculo de las rigideces dinámicas y amortiguamiento es la siguiente:

- Se calcula la rigidez dinámica para x, y, z y sus componentes rotacionales
- Se calcula los factores de corrección por embebido para x, y, z y sus componentes rotacionales η

- Se calcula los modificadores de rigidez dinámica por radiación de ondas para x, y, z y sus componentes rotacionales α
- Se calcula los modificadores de rigidez dinámica por radiación de ondas para x, y, z y sus componentes rotacionales β
- Se calcula la componente de rigidez dinámica $K_{emb}=K_x\eta_x\alpha$ para x, y, z y sus componentes rotacionales
- Se calcula la componente de amortiguamiento $C = \frac{K_{emb}\beta}{\omega}$ para x, y e z y sus componentes rotacionales (es la frecuencia de vibración de la estructura).
- Se divide K_{emb} y C para el área de cimentación.

Esto involucra distancias entre los bordes de la cimentación donde la rigidez toma valores más altos que al compararlos con las esquinas y centro.

Tabla 10. Resumen de rigideces. Fuente: Los Autores

Rigidez	Rigidez (KN/m3)/Dirección local			Observaciones
	1	2	3	
KB	7058	6973	35040	Dimensión corta
KCENTRO	7058	6973	10160	Centro
KESQ	7058	6973	33210	Centro
KL	7058	6973	31370	Dimensión larga
KMURO-BA-SE	0	0	20730	Dimensión corta
KMU-RO-LARGO	0	0	17810	Dimensión larga

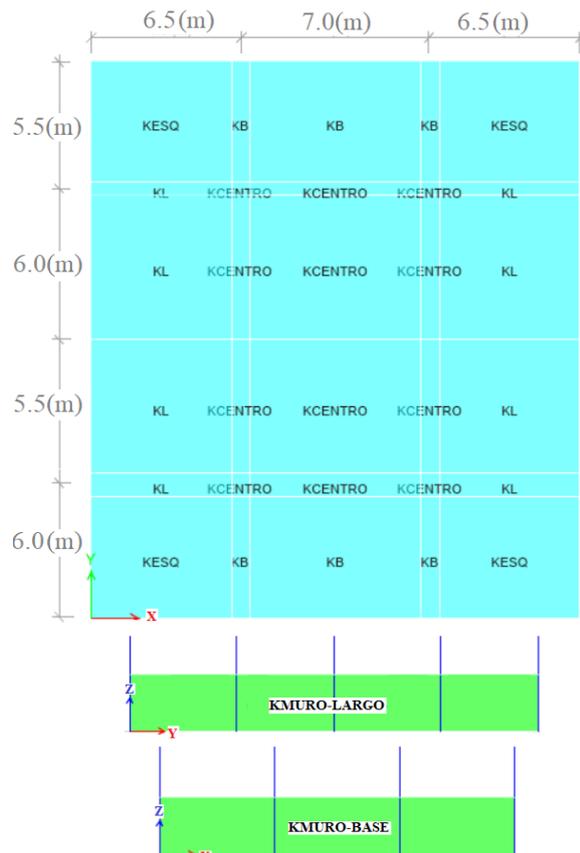


Figura 15. Asignación de rigideces

$$R_{ex}=5.75m$$

$$R_{ey}=5.00m$$

Los periodos de vibración asociados a una estructura con base flexible son los siguientes:

Tabla 11. Modos de vibración de la estructura con base flexible

Caso	Modo	Periodo (seg)
Modal	1	1.55
Modal	2	1.43
Modal	3	1.24
Modal	4	0.46
Modal	5	0.43
Modal	6	0.39

Caso	Modo	Periodo (seg)
Modal	7	0.26
Modal	8	0.24
Modal	9	0.22
Modal	10	0.17
Modal	11	0.16
Modal	12	0.15
Modal	13	0.12
Modal	14	0.12
Modal	15	0.10
Modal	16	0.10
Modal	17	0.09
Modal	18	0.09
Modal	19	0.08
Modal	20	0.08
Modal	21	0.07
Modal	22	0.06
Modal	23	0.04
Modal	24	0.03

Las derivas máximas en X e Y son las siguientes.

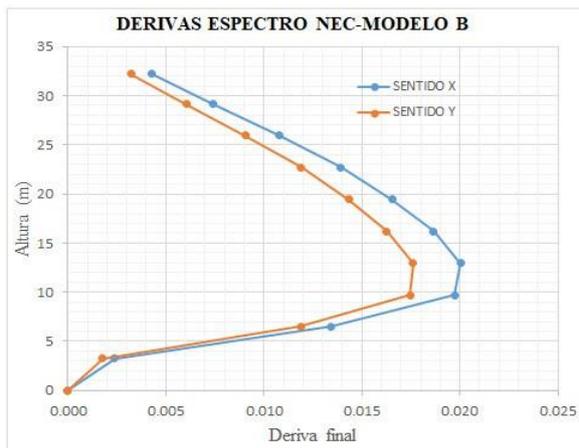


Figura 16. Derivas máximas base flexible con Espectro NEC

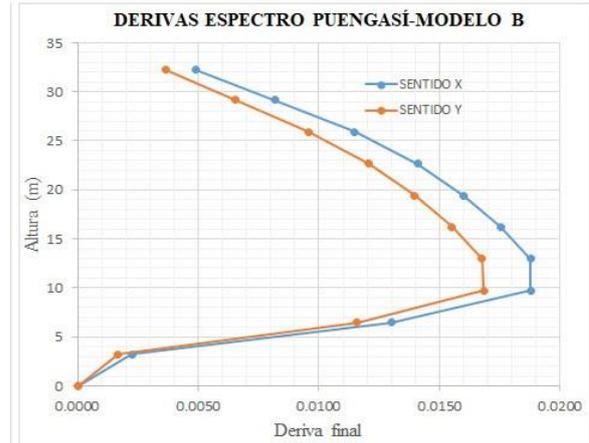


Figura 17. Derivas máximas base flexible con Espectro Puengasí

Para el espectro NEC:

$$\Delta x = 0.020$$

$$\Delta y = 0.0176$$

Para el espectro Puengasí:

$$\Delta x = 0.0188$$

$$\Delta y = 0.0168$$

Valores inferiores a 0.02 que reporta [21].

2.8 Método directo de ISE-Modelo C

El modelo directo representa tanto al suelo como la estructura directamente en la ISE, para realizar este análisis es necesario el empleo de elementos finitos. Para emplear este método es necesario emplear un modelo de rotura adecuado del suelo en donde se introduzcan todos los parámetros adecuados de la representación de la no linealidad del suelo. Para este modelo, se emplea la ecuación de movimiento completa $p(t)$, [21]

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = p(t) \tag{52}$$

2.9 Modelo HSSMALL

Se presenta los cálculos de triaxial para el modelo HSSMALL. Se debe considerar que existen

parámetros por default en este modelo por ejemplo que es la presión de referencia que se asigna $100\text{KPa}=1.02\text{kg/cm}^2$ que no es más que la presión atmosférica. Otro parámetro es la relación de falla R_f que es igual a 0.9.

Para el cálculo de E_{50}^{ref} se traza la línea q_f , para posterior encontrar q al 50% de q_f , se traza la recta que cruza $q_{50\%}$ y se determina la pendiente de la recta que resulta ser m . Posterior es necesario realizar la curva de dependencia E_{50} vs los estados de esfuerzos. Este procedimiento servirá para tratar de definir el valor de m (dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos).

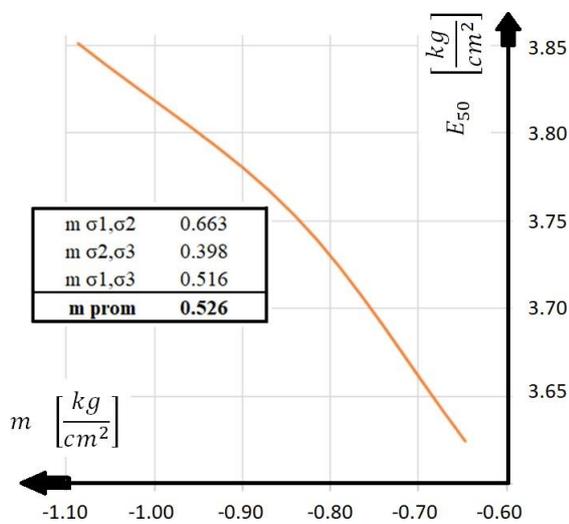


Figura 18. Dependencia E_{50} con los estados de esfuerzo

Se tiene tres valores de m para cada combinación de los esfuerzos efectivos, cada uno de los cuales es diferente, debido a que este suelo no cumple como una recta.

El valor m esta entre 0.65 a 0.8, por otro lado, de la gráfica 2 se tiene varios valores, siendo el de 0.66 el que más se ajusta.

E_{50}^{ref} se realiza para cada presión de confinamiento σ_3 .

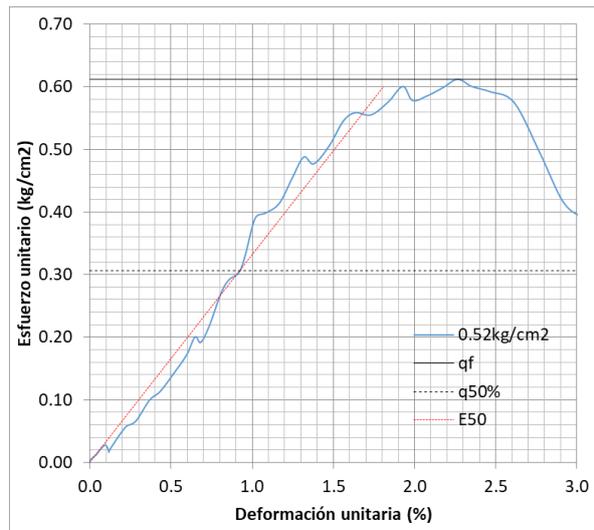


Figura 19. E_{50}^{ref} para una presión de confinamiento $\sigma_3=0.52\text{kg/cm}^2$

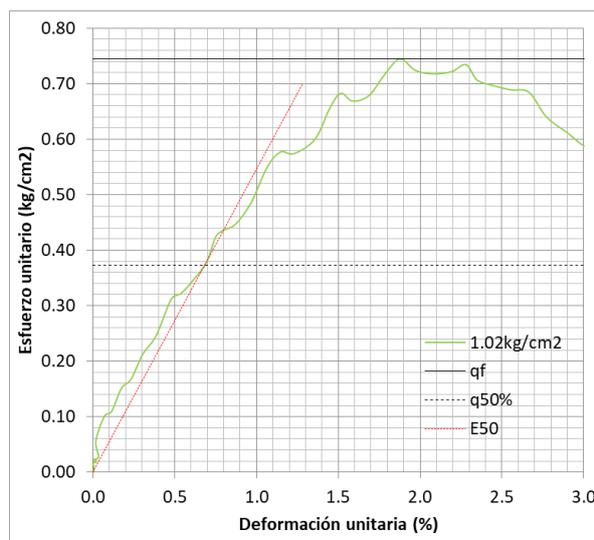


Figura 20. E_{50}^{ref} para una presión de confinamiento $\sigma_3=0.50\text{kg/cm}^2$

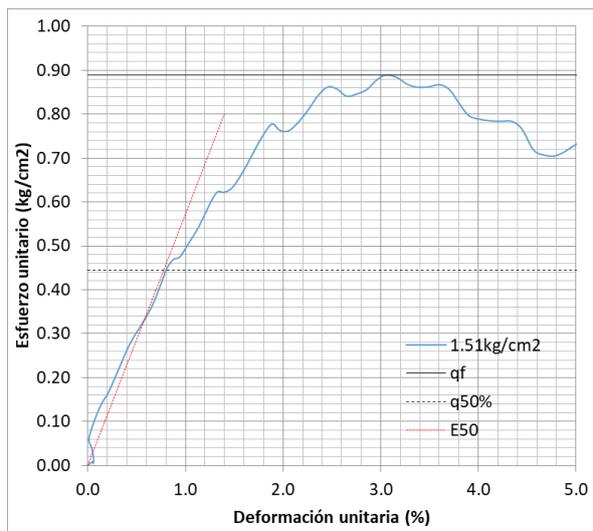


Figura 21. E_{50}^{ref} para una presión de confinamiento $\sigma_3=0.75\text{kg/cm}^2$

Para definir E_{50}^{ref} se emplea el ensayo edométrico, dando como resultado:

Tabla 12. Cálculo de E_{oed}^{ref}

Angulo de fricción interna $\phi =$	7
Presión referencia $\text{kg/cm}^2 =$	1
OCR	4
m	0.7
$E_{50} \text{ ref } \text{kg/cm}^2 =$	48
Kocn	1
$E_{oed} \text{ ref } (\text{kg/cm}^2) =$	49.2

El parámetro E_{ur}^{ref} se calculó de acuerdo con la ecuación 19, con un resultado:

Tabla 13. Cálculo de E_{ur}^{ref}

Eur ref	
Índice hinchamiento Cs	0.01
Relación de vacíos e0	0.59
Konc	1
$E_{50} \text{ kg/cm}^2 =$	47.95
$G \text{ kg/cm}^2 =$	17.98
Poisson $\mu =$	0.33
Presión referencia $\text{kg/cm}^2 =$	1.02
$E_{ur} \text{ ref } (\text{kg/cm}^2) =$	165.9

La tabla 10 sirve para un estrato que va desde 0.00 a -3.50m y la tabla 11 es para el estrato de -3.50m hasta -10.0m.

Tabla 14. Parámetros para el modelo HSSMALL del primer estrato

Parámetro	Descripción	Valores
μ	Coficiente de Poisson	0.33
yhum	Peso unitario húmedo	17.65 KN/m³
c	Cohesión	20.26 KN/m³
ϕ	Ángulo de fricción	7.03
Ysat	Peso unitario saturado	19.613 KN/m³
eo	Relación de vacíos inicial	0.59
k	Coficiente de permeabilidad	1.18E-08 m/seg
$E_{50} \text{ ref}$	Módulo de elasticidad secante en ensayos triaxiales	4702.66 KN/m²
$E_{oed} \text{ ref}$	Módulo de elasticidad secante en ensayos edométricos	4824.69 KN/m²
$E_{ref} \text{ ur}$	Módulo de elasticidad de carga y descarga en ensayos cíclicos	16267.12KN/m²
Rf	Relación de falla	0.90
oref	Esfuerzo de referencia	100.03 KN/m²

Parámetro	Descripción	Valores	Parámetro	Descripción	Valores
m	Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos	0.66	Ψ	Ángulo de dilatancia	2.04
konc	Coefficiente de suelo en reposo	1.039579	OCR	Relación de sobre consolidación	3.99
Ψ	Ángulo de dilatancia	2.34	Vs	Velocidades de ondas de corte	248.00
OCR	Relación de sobre consolidación	3.99	Go	Módulo cortante máximo	110047.27 KN/m ²
Vs	Velocidades de ondas de corte	248.00	IP	Índice plástico	15.00
Go	Módulo cortante máximo	110662.06 KN/m ²	yO.7		0.0001788566
IP	Índice plástico	15.00			
yO.7		0.0001788566			

2.10 Acelerograma escalado

Tabla 15. Parámetros para el modelo HSSMALL del segundo estrato

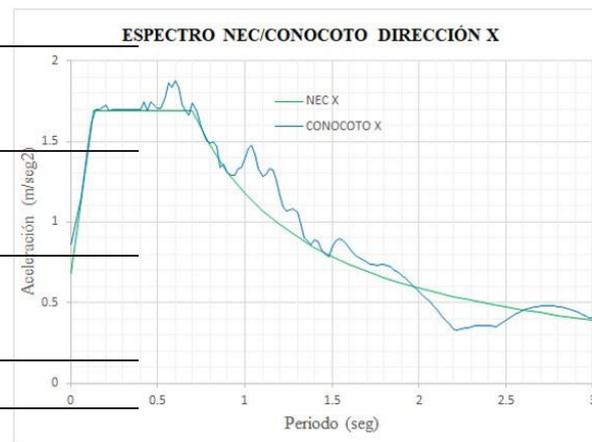
Se ha seleccionado el sismo de Conocoto registrado en la estación EPN y se ha ocupado las dos componentes sísmicas en la dirección E y N [24].

Parámetro	Descripción	Valores
μ	Coefficiente de Poisson	0.33
yhum	Peso unitario húmedo	17.55 KN/m ³
c	Cohesión	17.36 KN/m ²
Ø	Ángulo de fricción	6.11
Ysat	Peso unitario saturado	19.221 KN/m ³
eo	Relación de vacíos inicial	0.59
k	Coefficiente de permeabilidad	1.18E-08 m/seg
E50 ref	Módulo de elasticidad secante en ensayos triaxiales	4788.76 KN/m ²
Eoed ref	Módulo de elasticidad secante en ensayos edométricos	4899.78 KN/m ²
Eref ur	Módulo de elasticidad de carga y descarga en ensayos cíclicos	16333.78KN/m ²
Rf	Relación de falla	0.90
oref	Esfuerzo de referencia	100.03 KN/m ²
m	Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos	0.66
konc	Coefficiente de suelo en reposo	1.0

Este sismo ocurrió el 17 de febrero del 2017 [25].

A los acelerogramas se aplicó la corrección de línea base de tipo polinómica cúbica y filtrado de frecuencias tipo Butterworth (0.10Hz y 25Hz) [27].

$$(v=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3) \tag{53}$$



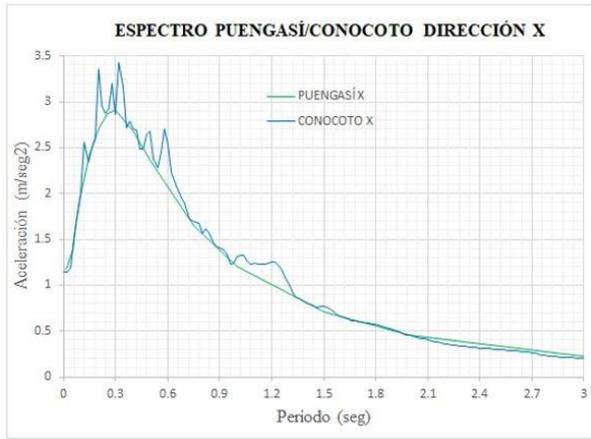


Figura 22. Acelerograma transformados a espectros escalados, en dirección X.

Como se aprecia en la figura, se observa el acelerograma de Conocoto escalado para los diferentes espectros. A continuación, el siguiente paso es transformar el espectro en un acelerograma.

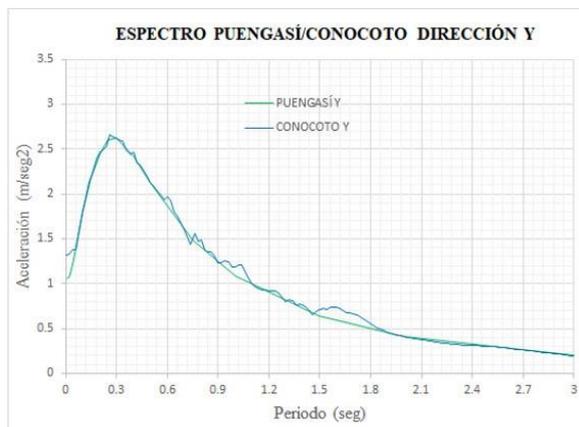
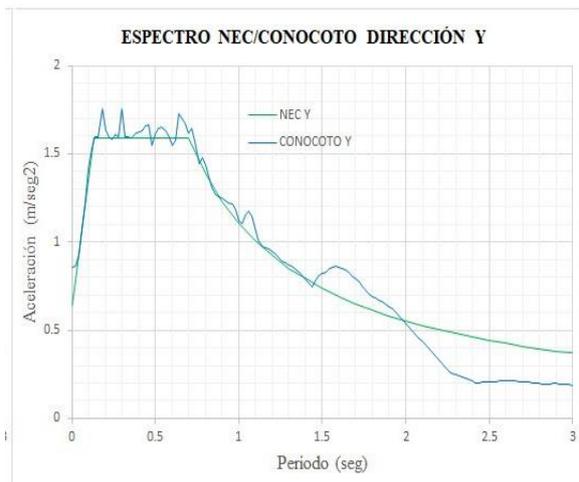


Figura 23. Acelerograma transformados a espectros y escalados, en dirección Y.

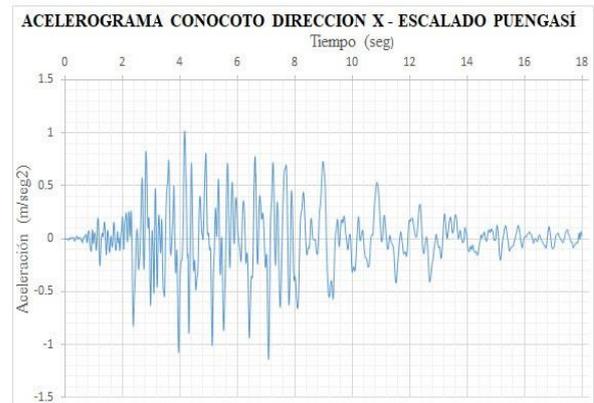
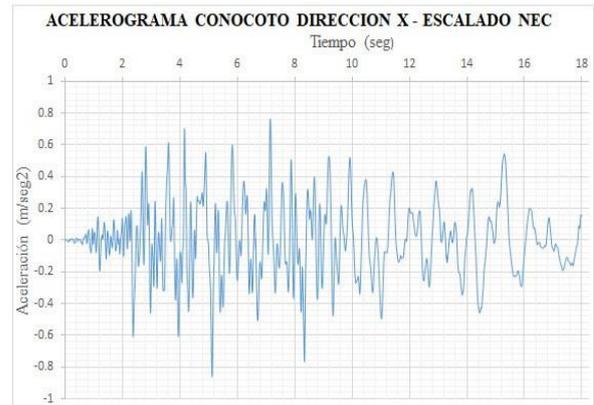


Figura 24. Acelerogramas escalados de acuerdo con los espectros y Puengasí, dirección X [24].

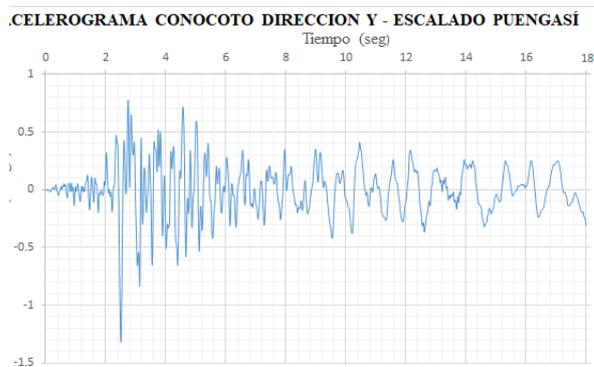
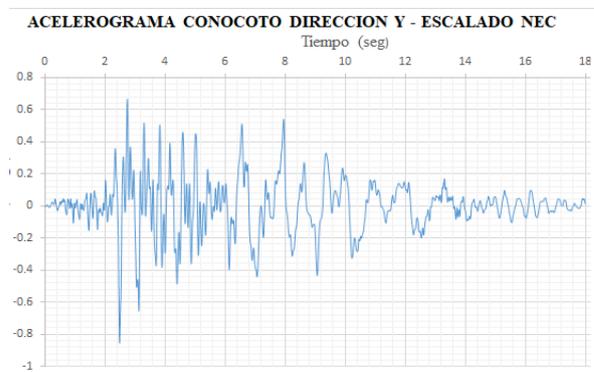


Figura 25. Acelerogramas escalados de acuerdo con los espectros [22] y Puengasí, dirección Y.

2.11 Modelo con elementos finitos

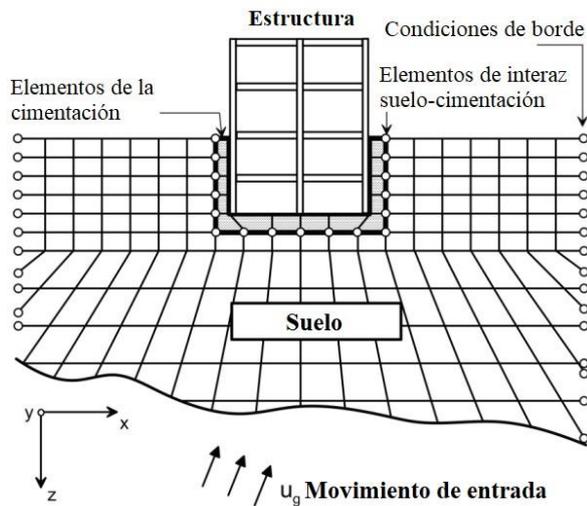


Figura 26. Modelo con elementos finitos

Después de haber definido todos los parámetros para la aplicación de un modelo elasto-plástico del suelo, se procede con el análisis en elementos finitos. De la misma manera se ingresa los espectros de respuesta.

La interfaz es la parte que realiza la interacción suelo estructura e involucra dos parámetros dentro de su cálculo la rigidez tangente y normal, cuyo cálculo se lo realiza a partir de las siguientes ecuaciones [26]:

$$Kn = \frac{E_{oed}}{L.tv} \quad (54)$$

$$Kt = \frac{Gi}{L.tv} \quad (55)$$

$$Gi = R.G_{soil} \quad (56)$$

$$G_{soil} = \frac{E}{2.(2+\nu_i)} \quad (57)$$

Donde:

E_{oed} : Es el módulo de elasticidad de ensayos edométricos

ν_i : Coeficiente de Poisson de la interfaz, cuyo valor recomendado es de 0.45

L : es la longitud de análisis, que por default se le asigna 1m

tv : Es el espesor virtual de la interfaz (Generalmente tiene un valor entre 0.01 ~ 0.1, cuanto mayor sea la diferencia de rigidez entre el suelo y la estructura, menor será el valor)

R : Factor de reducción estructural cuyos valores son:

Arena/Acero	=	0.6 – 0.7
Arcilla/Acero	=	0.5
Arena/Hormigón	=	0.80-1.00
Arcilla/Hormigón	=	0.70-1.00

Por lo tanto, se ha definido los siguientes valores de $R=0.7$, $E_{oed}=80.372 \text{ kg/cm}^2$ y $tv=0.03$, dando los siguientes valores de Kn y Kt :

$$Kn=2679.07 \text{ kg/cm}^3=262726.81\text{kN/m}^3$$

$$Kt=646.671 \text{ kg/cm}^3=63416.81\text{kN/m}^3$$

Los modos de vibración de este modelo se identifican en la siguiente tabla.

Tabla 16. Periodos de vibración del Modelo C

Modo	Periodo (seg)
1	1.54
2	1.53
3	1.50
4	1.47
5	1.43
6	1.42
7	1.39
8	1.38
9	1.36
10	1.32
11	1.29
12	1.22
13	1.15
14	1.13

15	1.13
16	1.10
17	1.04
18	1.02
19	1.00
20	0.98
21	0.96
22	0.94
23	0.93
24	0.90

Las derivas máximas se indican a continuación:

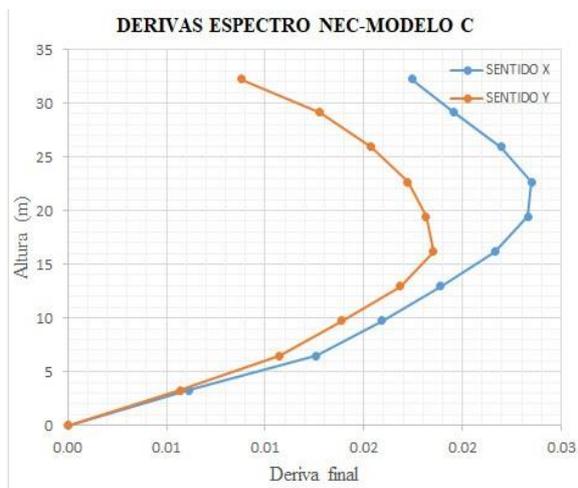


Figura 27. Derivas máximas del Modelo C, con Espectro NEC

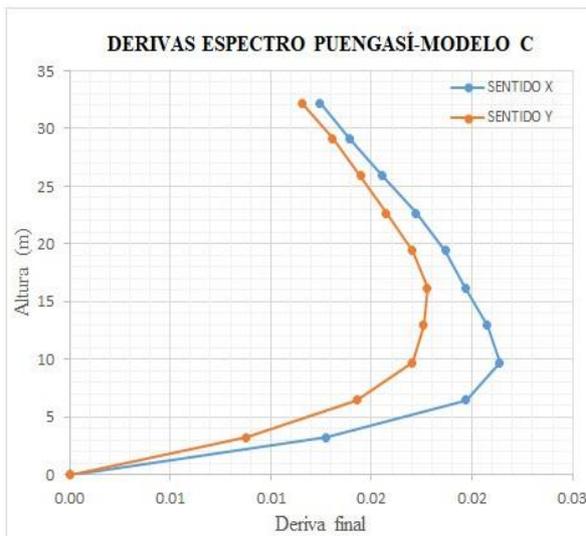


Figura 28. Derivas máximas del Modelo C, con Espectro Puengasí

Para el espectro NEC:

$$\Delta x = 0.024$$

$$\Delta y = 0.019$$

Para el espectro Puengasí:

$$\Delta x = 0.021$$

$$\Delta y = 0.018$$

Valores superiores a 0.02 que reporta la [21].

3. Comparación entre los tres métodos

El periodo de vibración es un indicativo de la rigidez de la estructura, pero como se ha visto hasta ahora también está involucrado el suelo bajo la cimentación. Solo se presentan los tres primeros modos de vibración, ya que como se analizó en el método de la subestructura más del 90% de la participación modal se encuentran en estas tres primeras formas modales.

Tabla 17. Resumen de los periodos de vibración de la estructura para los tres métodos

Modo	Periodo (seg)		
	Modelo A	Modelo B	Modelo C
1	1.06	1.55	1.54
2	0.98	1.43	1.53
3	0.89	1.24	1.50

Comparando el primer modo con el modelo A, existe un 46% con el Modelo B y 45% el Modelo C. En otras palabras, realizando un análisis con base rígida (Modelo A) en un suelo blando como el realizado en esta investigación, se comete un gran error que a posterior dará resultados positivos falsos (derivadas dentro parámetros permitidos, secciones y armados de acero de elementos estructurales, fenómeno de resonancia, etc.).

El periodo de vibración natural del depósito es 1.022 segundos y para estimar si la estructura se encuentra en resonancia se debe evaluar hasta el 90% de la participación modal y en este caso invo-

lucra los tres primeros modos, estableciendo que solo el modelo A presenta este fenómeno.

Las derivas máximas de piso se indican a continuación:

Tabla 18. Resumen de derivas máximas de la estructura para los tres métodos

Derivas máximas X / Y			
TIPO	Modelo A	Modelo B	Modelo C
NEC	0.01136 / 0.00981	0.02 / 0.0176	0.024 / 0.019
Puengasí	0.01102 / 0.009	0.0188 / 0.0168	0.021 / 0.018

Según la [21, p. 40] este valor no debe exceder a 0.02, por lo tanto con el modelo C no cumple satisfactoriamente las derivas de piso para el caso del espectro de la NEC y Puengasí.

4. Conclusiones

- Para estimar el espectro de respuesta de sitio mediante la plataforma virtual del PEER [19], es necesario contar con una caracterización geológica de las fuentes sísmicas (fallas).
- El empotramiento perfecto es una manera de realizar la interacción suelo estructura, pero esto significa que se asume que el suelo es rígido.
- Los resultados más fiables de realizar una interacción suelo estructura es con el uso de las funciones de impedancia (Modelo B) y mediante el método directo (Modelo C), que estimaron valores de periodos de vibración y derivas de piso muy cercanas entresí.
- Es necesario diferenciar entre el coeficiente de balasto y funciones de impedancia, la única similitud entre ambas es el uso de resortes (rigidez) para interpretar al suelo., después de eso no existe ninguna similitud debido a que la primera se obtiene mediante un ensayo estático, mientras que la segunda incluye el uso de parámetros dinámicos del suelo como el módulo cortante máximo (Gmax) y modulo cortante secante (Gsec) y cuya estimación más cercana se realiza a partir de las velocidades de ondas de corte (Vs).

- Cuando se emplee el Vs se debe tomar en cuenta la profundidad en donde se colocará la cimentación y no confundir con el Vs30 que es la velocidad promedio a 30m de profundidad. En un ensayo de velocidades de ondas de corte se grafica la profundidad versus Vs30, de esta manera se evita el error.
- El espectro de la NEC-SE-DS, es satisfactorio para esta investigación, ya que al comparar con los resultados obtenidos con el espectro de Puengasí, existe similitud de valores (Ver Tabla 5.16).
- Se ha demostrado en esta investigación, que al no considerar la ISE (modelo A), se genera errores muy graves en el diseño estructural.

Referencias

- [1] G. M. Martin, «Proceedings of the NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Revisions,» *Univ. of Southern Calif*, 1994.
- [2] Pacific Earthquake Engineering Research Center, «PER Ground Motion Database,» 25 09 2019. [En línea]. Available: www.ngawest2.berkeley.edu.
- [3] R. F. Obrzud y A. Truty, THE HARDENING SOIL MODEL-A PRACTICAL GUIDEBOOK, Préverenges: Structures, 2018.
- [4] T. Schanz, P. Vermeer y P. Bonnier, «The hardening soil model: Formulation and verification,» *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, p. 16, 1998.
- [5] PLAXIS, Material Models Manual, 2017.
- [6] A. Alvarado, Neotectonique et cinématique de la deformation continentae en Ecuador, Arrete: Universite de Grenoble, 2012.
- [7] J. Biarez y P. Hicher, «Elementary Mechanics of Soil Behaviour. Saturated remoulded soils,» 1994.
- [8] ASCE 7, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2016.

- [9] Y. Nakamura, «A METHOD FOR ESTIMATING THE DYNAMIC CHARACTERIZATION OF THE SUBSOIL USING MICROTREMORS ON THE SOIL SURFACE,» p. 33, 1989.
- [10] Pacific Earthquake Engineering Research Center, «PER Ground Motion Database,» 04 06 2019. [En línea]. Available: www.ngawest2.berkeley.edu.
- [11] R. Aguiar, Espectros de control para la ciudad de Quito-Ecuador (Obtención de espectros mediante modelos determinísticos asociados a las fallas ciegas inversas de Quito), Barcelona: A.H. Barbat, 2015.
- [12] H. Parra, Desarrollos Metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio e riesgo sísmico en la ciudad de Quito, Madrid: Desarrollos Metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio e riesgo sísmico en la ciudad de Quito, 2016.
- [13] K. Campbell y Y. Borzognia, NGA-West2 Campbell-Bozornia Ground Motion Model for the Horizontal Components of PGA, PGV and 5% Damped Elastic Pseudo-Acceleration Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 sec, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [14] J. Kaklamanos, L. G. Baise y D. M. Boore, «Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice,» *Earthquake Engineering Research Institute*, p. 17, 2011.
- [15] N. Abrahamson, W. Silva y R. Kamai, «Summary of the ASK14 Ground-Motion Relation for Active Crustal Regions,» *Earthquake Spectra*, p. 39, 2014.
- [16] N. Abrahamson, W. Silva y K. R., Update of the AS08 Ground-Motion Prediction Equation Based on the NGA-West2 Data Set, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [17] B. Chiou y R. Youngs, Update of the Chiou and Youngs NGA Ground Motion Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [18] PEER, Users Manual for the PEER Ground Motion Database Web Application, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2011.
- [19] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [20] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [21] NIST GCR 12-917-21, Soil-Structure Interaction for Building Structures, Gaithersburg: U.S Department of Commerce, 2012.
- [22] A. Chopra, Dinámica de estructuras, México Df: Pearson, 2014.
- [23] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [24] «Instituto Geofísico,» 02 10 2019. [En línea]. Available: www.igepon.edu.ec.
- [25] MIDAS, New experience Geotechnical analysis System, 2019.
- [26] U.S Geological Survey & Esc. Politécnica Nacional, «Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceanicas Adyacentes,» USGS, Denver & Quito, 2003.

Tecnologías de Fabricación y su Influencia en el Diseño Industrial

Manufacturing Technologies and their Influence in Industrial Design

Jácome P. ¹; Valverde C. ²

1 Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, Quito, Ecuador

e-mail: epjacomem@uce.edu.ec

2 Universidad de Las Américas, Facultad de Arquitectura, Escuela de Diseño de Producto, Quito, Ecuador

e-mail: maria.valverde@udla.edu.ec

Información del artículo

Recibido: febrero 2020

Aceptado: abril 2020

RESUMEN

La Teoría de la Autopoiesis de Patrik Schumacher, desarrollada para el Diseño Arquitectónico puede ser plasmada a través de la aplicación interdisciplinaria del diseño y de varias disciplinas de Ingeniería: Civil, Estructural, Mecánica y de Manufactura. En este ensayo se hace una extrapolación de esa teoría con el objetivo que sea el fundamento teórico y conceptual que sustente el diseño de productos para ser manufacturados en serie a nivel industrial. De esta manera se pretende difundir en Ecuador una metodología de diseño paramétrico de productos.

Como elemento que guía el diseño conceptual del objeto tomado como caso de estudio, se escogió el símbolo tri dimensional del infinito debido a su validez universal para distintas culturas alrededor del mundo. Así se plantea nuevos modelos de superficies para estructuras, a partir de superficies canónicas basadas, por ejemplo, en el círculo o en la elipse. Aquí se presenta una metodología de diseño y de propuesta de forma que puede adaptarse para resolver el diseño de producto de joyas, envases y griferías, por ejemplo, o estructuras como esculturas, puentes, estadios y coliseos

Palabras clave: *Diseño Industrial, Diseño de Producto, Diseño Paramétrico, Autopoiesis, Ingeniería de Manufactura.*

ABSTRACT

Patrik Schumacher's Theory of Autopoiesis, developed for Architectural Design can be embodied through the interdisciplinary application of design and various Engineering disciplines: Civil, Structural, Mechanical and Manufacturing. In this essay the objective of extrapolation of this theory is to turn it into the theoretical and conceptual basis that supports the design of products to be manufactured in series at the industrial level. In this way, it is intended to disseminate a parametric product design methodology in Ecuador.

As an element that guides the conceptual design of the product taken as a case study, the three-dimensional infinity symbol has been chosen due to its universal validity for different cultures around the world. Thus, new models of surfaces for structures are proposed, based on canonical surfaces based, for example, on the circle or on the ellipse. Here we present a design and proposal methodology so that it can be adapted to solve the product design of jewels, containers and faucets, for example, or structures such as sculptures, bridges, stadiums and coliseums

Keywords: *Industrial Design, Product Design, Parametric Design, Autopoiesis, Manufacturing Engineering.*

1. Introducción

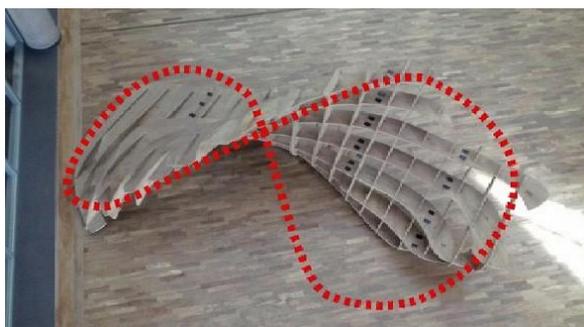


Figura 1 Vista superior de la estructura basada en la banda de Moebius

1.1. ¿Qué es el diseño paramétrico?

Con el objetivo de comprender el concepto de diseño paramétrico se realizará una breve descripción de hitos históricos que permitan formar un criterio intuitivo de lo que esa metodología de diseño constituye. A partir del desarrollo de la segunda revolución industrial se alcanzó la estandarización de los procesos de producción en serie buscando el objetivo de disminuir los tiempos de producción regidos en un marco de trabajo donde se buscaba la optimización de los recursos, siempre escasos en el planeta Tierra. Esa estandarización se lee y se interpreta a través de la normativa técnica, mayormente regida en los tiempos actuales por la International Standardization of Organization (ISO). Dicha estandarización se evidencia básicamente a través de dimensiones y tolerancias geométricas, aunque con menor aplicación de las tolerancias geométricas, si se considera el nivel de industrialización del Ecuador. Con este marco técnico aplicado a la producción se consigue la intercambiabilidad de objetos entre diversos sistemas de productos y también la complementariedad entre productos. Por esta razón se tiene repuestos, por un lado, y por otro, los accesorios.

Continuando con este ejercicio descriptivo, se llega a la tercera revolución industrial, donde ya era evidente otro resultado de la estandarización: el diseño de la familia de objetos o de productos y su posterior producción.

Pero no se puede ubicar en ninguno de esos dos estadios del desarrollo de la sociedad humana de producción el origen del diseño paramétrico, pues su origen es anterior. Para ensayar una hipótesis sobre su posible su origen, se puede iniciar escribiendo que cuando los primeros humanos conoci-

dos como homo sapiens empezaron a repartir sus recursos [1], empezaron a hacer un trabajo basado en lo paramétrico, si se hace una abstracción de la necesidad de establecer medidas estandarizadas para procurar el racionamiento equitativo para los integrantes del clan y luego de la tribu. Siguiendo el paso de la historia humana, es necesario dar un salto a la sociedad de la Grecia clásica donde destacaron los geómetras y los astrónomos, con sus sistematizadas actividades para proyectar los contornos de la Tierra y sus múltiples texturas orográficas. La tarea de esos primeros científicos se ordenó a través de la parametrización y es innegable la influencia mutua entre los griegos y las sociedades de medio y de extremo oriente [1].

Y a pesar de que las evidencias actuales no muestran la parametrización de los pueblos ancestrales de América, se puede leer en distintos vestigios los niveles de parametrización necesarios para obtener las réplicas cerámicas y rupestres de objetos diseñados y producidos en distintos puntos del continente llamado nuevo por la visión etnocéntrica [2].

Ya superando el rezago de la Edad Media, el Renacimiento muestra en las ciudades estado de Europa los diseños parametrizados de ciudades y de sus edificios, así como en sus productos de uso diario. Pero así también en el incipiente renacimiento de la ciencia aplicada, de cuyos indicios de aplicación paramétrica se tienen los bocetos de Leonardo da Vinci, así como en sus dibujos, pinturas y retratos, singular tarea de simbiosis entre el creador (léase diseñador), el técnico y el científico [3].

Toda esta simiente de la ciencia tenía un carácter axiomático, para su autoconstrucción, y paramétrico, para su explicación y su aplicación. Estas características posibilitaron la expansión, profundización y trascendencia de conocimientos dentro de la Astronomía, la Física, la Matemática y el desarrollo organizado de la ciencia aplicada a través de la Arquitectura y de la Ingeniería.

Por otra parte, aproximadamente por el siglo XVII, René Descartes propone las mediciones basadas en coordenadas, sistema de referencia imprescindible en el modelamiento digital y para la programación de los robots y máquinas de la Cuarta Revolución Industrial.

Ya en el siglo XX se registra metodologías de parametrización basadas en la proporción del cuerpo del ser humano como en el caso de los textos del arquitecto francés Le Corbusier (Le modulator). Posteriormente, se tienen los proyectos de superficies obtenidos a partir de burbujas de jabón, según el proceso generado por otro arquitecto: Frei Otto. Casi a finales del siglo XX la obra arquitectónica de Zaha Hadid enarbola a nivel mundial el emblema de diseño paramétrico. La concepción teórica del diseño paramétrico fue realizada por Patrik Schumacher a través de dos volúmenes denominados la Autopoiesis de la Arquitectura I y II, respectivamente. Es esta monumental obra teórica en la que se sustentó el caso de estudio que se presenta al final de este ensayo. Si bien el título de esta obra es totalmente orientado hacia la arquitectura, Patrik Schumacher deja la puerta abierta para sustentar el diseño de producto. Esta libertad permitió ejecutar el diseño de un producto adaptado a la realidad del Ecuador como es la estructura de exhibición realizada en madera

2. Material y métodos

2.1. Diseño parametricista

En una actitud simplificadora planteada de manera didáctica se puede manifestar que el diseño parametricista tiene sus herramientas en las que presenta el diseño paramétrico.

Para lograr la eficaz construcción de los proyectos parametricistas se debe recurrir a las ciencias aplicadas de la ingeniería, según es analizada por Patrik Schumacher [3]. Dentro de la irrupción tecnológica que se vive en el siglo XXI son evidentes las herramientas de simulación de ingeniería conocidas dentro del lenguaje técnico como CAE (Computer Aided Engineering), cuya aplicación es sostenida por la teoría matemática de los elementos finitos y por los sucesivos procesos para análisis conocidos como la modelación de elementos finitos y en el análisis de elementos finitos.

Se debe manifestar aquí que la correcta aplicación del CAE implica la interpretación, en la definición más ajustada de este término, del modelo o prototipo digital. Esto es, para ampliar este entendimiento, se debe tomar las partes del sistema digitalizado que den información relevante para la simulación y por ende para el análisis [4]. Es decir, a pesar,

de la relación que existe entre un modelo CAE y un modelo CAD (Computer Aided Design) no necesariamente el modelo CAE debe tener todos los detalles que se necesita en un modelo CAD para la manufactura, esta afirmación es notable cuando se trata de la producción de series de productos a través de la manufactura de moldes.

Para aclarar estos asertos, se ahondará en explicaciones que tienen una base fuertemente empírica. En el modelo CAD se archivan los registros geométricos y de dimensión de elementos digitales tipo sólido (se diría la data en el argot técnico de la minería de datos). Aquí cabe otra aclaración para diferenciar entre softwares, según las características que tienen en su arquitectura manifiesta: paramétricos en contraposición con los que no lo son. Sin embargo, se debe decir que con la metodología apropiada sustentada en los conocimientos básicos imprescindibles de la geometría y del álgebra lineal, se puede modelar un objeto o producto de manera paramétrica, aunque el software no lo sea. Se debe recordar lo que se expuso en los párrafos del tema ¿Qué es el diseño paramétrico? y la abundancia de evidencias de diseño paramétrico, en circunstancias que no existía atisbos siquiera de software o incluso la presunción de que se podría elaborar tal tecnología.

Continuando con la aclaración planteada, para obtener el archivo CAD se puede diseñar una metodología para su uso o simplemente empezar su operación. Si se necesita hacer un diseño paramétrico usando un software cuyos algoritmos de modelado no son paramétricos es imprescindible una estructura de modelado que sea basada en el dibujo técnico y por ende en la geometría plana con el objetivo de establecer ciertas dimensiones básicas (parámetros) que permitan la obtención del producto final. Otra forma de obtener un producto paramétrico utilizando un software que no lo es, es a través del uso de fotografías escaneadas de prototipos físico fotografiados o en su defecto escaneados.

Sin embargo, en cualquiera de los dos últimos casos no se podrá obtener una familia de productos a partir de los cambios dimensionales y/o geométricos realizados sobre parámetros que se actualicen manualmente, es decir a través de la actualización de las variables independientes, o por actualización de las variables dependientes dentro de una ecuación

ción matemática. Sin embargo, para cualquiera de las dos situaciones, es decir, modelado digital con software de tipo no paramétrico en contraposición con el modelado en software de tipo paramétrico, se obtiene un archivo digital parametrizado.

A partir del modelo CAD la utilización de otros softwares dependerá de los criterios profesionales necesarios y de los objetivos de cada proyecto. Esto es, aparte de la aplicación directa que en este ensayo se mostrará con el CAE, se podrá interaccionar con un software de interface CAM (Computer Aided Manufacturing) - CNC (Computer Numerical Control) con fines de manufactura sustractiva o aditiva para el caso de impresión 3D [5]. Además, cabe decir, se podrá interactuar con un software CMM (Coordinate Measurement Machines) con fines de verificación de dimensiones del mencionado molde ya fabricado.

Este tipo de interacciones usando un solo archivo digital o variaciones paramétricas de uno básico, permite realizar estudios conceptuales con el nivel de rigurosidad que el producto y su proyecto albergador lo necesiten. Estos estudios conceptuales pueden profundizarse en función de los niveles de experticia disponibles dentro del recurso humano. O en función del costo-beneficio involucrado en un desarrollo. Los fines siempre buscarán la optimización de recursos: uso de categorías de materiales, cantidad de material, tiempo de desarrollo y tiempo de mano de obra.

2.2. Caso de estudio

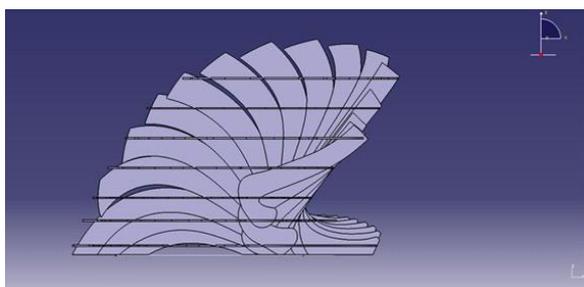


Figura 2 Vista lateral de la estructura. Modelado en CATIA [3]

2.3 Explicación del modelado digital

Se tomó como punto de partida el modelo digital creado con superficies en Rhinoceros. A esas superficies se les hizo extrusiones en el módulo Part Design de CATIAV5R21 [6].

La estructura está realizada una malla (mesh o surface) compuesta de tetraedros generada automáticamente por el software según los parámetros pre establecidos por el analista de elementos finitos

3. Resultados y discusión

Con el esfuerzo de Von Mises se sintetiza en una ecuación la combinación de esfuerzos principales, es decir los relevantes, que actúan sobre el sistema definido exactamente. Dentro de esta ecuación se define un factor de seguridad, el cual está estandarizado por normas técnicas de construcción en función de la seguridad de la estructura misma y también de las personas que con ella interactúan.

3.1. Descripción del modelo matemático

Describir todos los escenarios posibles a los que puede, o debe según el caso, enfrentarse una estructura, o en su forma más general: un objeto o un sistema, puede llegar a ser una actividad sumamente compleja debido, sobre todo, a la cantidad de variables interactuantes y generadas sobre el sistema [3].

Por ello la primera acción tiene que ver con la definición precisa del sistema. Aquí es de suma importancia la teoría de campos del álgebra vectorial, pues permite definir los límites de frontera y las condiciones para esa frontera, mismas que tienen que ver con las características de los materiales utilizados: densidad de la madera, espesor de la sección transversal y las características de la resistencia mecánica. Estas dos primeras variables permiten determinar la resistencia de la madera, así como también dirigen el análisis para optimizar el espesor de los tablones. Este análisis, a su vez, señalará los rangos de espesor de la madera sin que la estructura presente riesgos, incluso desde sus inicios de corte, en su transporte, durante su armado y durante su exposición, y finalmente para su bodegaje o destino final.

A continuación, se establecerán las variables sobre el mismo producto: condiciones de los grados de libertad y sistema de cargas externo. Estas variables introducen cada una por separado y en sus múltiples interacciones entre sí, otros niveles de complejidad.

El sistema de cargas que se define en un sistema tiene que ver con la primera ley de Newton, es decir la suma de fuerzas es cero para un sistema estático.

3.1.1. Sistema de cargas

Los materiales que dan cuerpo a la estructura tienen densidad, propiedad física que establecerá el peso de la estructura. Dentro de la Ingeniería Estructural este peso se considera dentro de las cargas llamadas muertas. Debido al carácter expositivo de la estructura, otras cargas que no se consideran para el análisis, por no existir son: carga de lluvia, nieve y granizo. Y otras cargas son irrelevantes por situarse la estructura dentro de sitios cerrados: carga de viento, carga por dilatación térmica debido a la influencia del sol o del calor del medio ambiente.

3.1.2. Grados de libertad

La estructura expositiva está diseñada para ser soportada por un piso. No se coloca ninguna otra restricción a sus grados de libertad.

Para el caso de estudio del volteo se supone que solo uno de sus soportes estará en contacto con el piso. Esto sucederá cuando se le aplique una carga de tipo vertical en sentido de abajo hacia arriba y será aplicada en el punto más externo de la estructura respecto al punto de apoyo final. Además de ser el punto que provoque el momento más alto sobre la estructura se considerará una altura que sea pertinente con el análisis ergonómico para una persona que aplica una carga de levantamiento .

3.2. Descripción del modelado digital

3.2.1. Modelo CAD

El modelo CAD inició como una superficie plana rectangular teniendo como únicos parámetros explícitos sus dimensiones de largo y ancho. Esta superficie se modeló en el software Rhinoceros. Posteriormente se le aplicó la herramienta llamada torsión, tomando como referencia el concepto de la banda de Moebius.

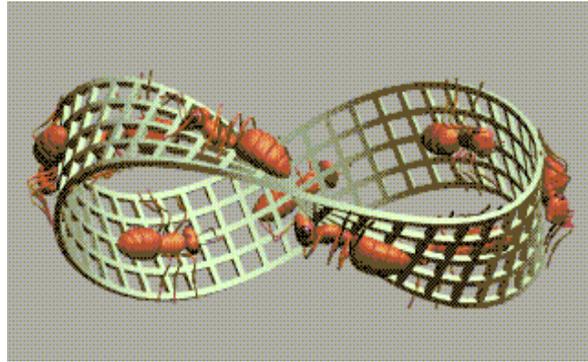


Figura 3. Banda de Moebius [6]

La tensión de borde en cada una de las curvas isoparamétricas es cero, puesto que no es necesario que las curvas generatrices sean tangentes a alguna curva externa o paralela a alguna recta debido a que es una estructura abierta.

3.2.2. Ingeniería de manufactura

Si bien al aplicar el dibujo técnico para el diseño de productos y con él para el diseño industrial, se brinda tolerancias a las dimensiones de toda la geometría, se debe además considerar otras tolerancias que tienen que ver con los procesos de manufactura, sean estos para producción en serie o para producción individual. Por ejemplo, se tiene la cantidad de sobrematerial para mecanizados posteriores, los porcentajes de contracción y expansión de los materiales tanto durante su producción como durante su operación, los niveles de desgaste de los elementos mecánicos de las máquinas y los ensambles, o las condiciones de ciclo de vida del producto que se presentan en las herramientas de arranque de viruta.

Cuando se realiza modelamiento digital se debe considerar además las tolerancias del objeto a diseñarse, siendo las de mayor exactitud las superficies de clase A según se usan en la industria automotriz [7].

3.2.3. Topología

La topología es una parte de la Matemática que estudia la calidad de las superficies elaboradas en el espacio [8].

Considerando la aplicación práctica del sistema teórico topología se tiene que, dentro de los softwares para modelado de objetos, la máxima

calidad de una superficie se denomina superficie clase A, tal como se escribió en el párrafo anterior, y el mejor referente de aplicación se encuentra dentro de la industria automotriz debido a la necesidad de continuidad de la superficie metálica de la carrocería de un auto luego de la aplicación de las sucesivas capas de pintura automotriz [9]. Para el caso de estudio es innecesaria tan elevada precisión, aún más si se considera que la construcción de la estructura contempla el uso de planos seriados, es decir no estamos ante una estructura tipo skin (es decir piel o escribiendo con mayor propiedad: superficie).

3.2.4. Pasos esenciales de la metodología

Como se ha escrito en un párrafo anterior el resultado de la investigación funcional puede ser una metodología, para el caso de estudio, donde se utiliza herramientas digitales de tipo paramétrico, se sugieren los siguientes pasos esenciales:

- Bocetar a lápiz el primer concepto
- Exploración de la forma
- Sistema de decisiones de Diseño
- Exploración formal a través del Diseño Paramétrico
- Diseño físico y optimización de la estructura paramétrica: Un estudio de elementos finitos

Resumiendo, y ampliando la explicación hasta estas líneas, la estructura paramétrica estudiada fue creada dentro de un trabajo de taller aprender haciendo con treinta estudiantes de diseño de la Universidad de Las Américas, a partir del uso de la herramienta llamada torsión de superficies del software Rhinoceros. Esto con el fin de crear una estructura basada en los manifiestos teóricos del parametricismo, y que sirva como exhibidor de muestras temporales.



Figura No.4 Estructura en exhibición

A este modelo digital se le realizó la simulación del caso estático en el software CATIA V5R21, ubicándole restricciones de cero grados de libertad en su base y sometiéndole a cargas distribuidas de manera uniforme sobre las superficies de la estructura [10]. El software generó la malla para el análisis de elementos finitos. En la simulación del caso estático, se aplicó el análisis de esfuerzo según el criterio de falla de Von Mises en N/m². Además, se analizó la deformación de la malla en milímetros. En base a esta primera optimización se construyó el objeto en madera enchapada. El material escogido dentro de la base de datos de CATIAV5R21 es *walnut*, una madera con características de material isotrópico, cuya densidad es 609 kg/m³ y el módulo de Young es 1,16E10 N/m² [11]. Se usó tablones de espesor 15 mm y de dimensiones 1,20 x 2,40 metros cortados a la forma final en una máquina CNC de dos ejes. En ese estudio se determinó la relación esfuerzo-deformación en los puntos críticos de la estructura.

3.3. Discusión

3.3.1. Posibilidades de aplicación de la ingeniería

Usando el software de simulación de ingeniería CATIA (*computer-aided three dimensional interactive application*) se estableció un sistema de cargas externa que reprodujo escenarios de reacciones extremas sobre la estructura.

Las reacciones en la estructura susceptibles de estudio son: desplazamientos, dilataciones térmicas, sistemas de vibraciones, esfuerzos, y la ubicación de estos parámetros en los puntos de análisis crítico.

Para el caso de la estructura expositiva sometida a análisis se tiene que está sometida a un sistema de fuerzas combinadas que generan un sistema de esfuerzos combinados: tracción, flexión, pandeo y fatiga. Para el caso de la fatiga se ampliará el alcance del proyecto con el fin de realizar estudios de comportamiento dinámico. Este comportamiento dinámico es totalmente factible de transmitir sus señales a través de Arduino con el fin de realizar demostraciones académicas en tiempo real y extrapolar el análisis de materiales en cuanto a su respuesta bajo escenarios controlados [11].

3.3.2. Variables para la simulación de ingeniería

El uso de los criterios de parametrización desde los puntos de vista de la ingeniería permite la optimización de sistemas complejos. Son sistemas complejos desde varias categorías de análisis: Sistemas de cargas complejos, sistemas de esfuerzos complejos de reacción, sistemas complejos de interacción geométrica.

Permitir una sección transversal variable de los elementos tipo viga y tipo columna con los que se produce el volumen de la estructura.

Comparar la estructura de doble curvatura finalmente obtenida con una estructura conceptual de una sola curvatura. La estructura de doble curvatura es el resultado de la interacción de dos curvas ubicadas en sus respectivos planos que son ortogonales entre sí. La estructura de simple curvatura se producirá a raíz de la simplificación de la superficie de la estructura final.

3.4. Teoría y Método

Dentro de CATIA V5R21 se usa el módulo de simulación de Ingeniería denominado *Static Case Solution* donde se analiza el esfuerzo de Von Mises, *Deformed mesh*, *Estimated local error* y *Translational displacement vector*. Entre los resultados obtenidos están en porcentaje el *Global Error Rate*.

3.4.1. Suposiciones para la simulación

Para la obtención de los resultados que validaron la construcción de la estructura se debe establecer un escenario virtual. En todos los casos que se establezca, el modelo CAD no mostrará la unión entre los tabloneros que se realiza con perfiles de acero. En estos dos escenarios básicos se supone que las planchas de madera son continuas. En la estructura real por disponibilidad de tamaños de tableros estándares se les incorporó chapas de acero en ángulo y con el fin de producir su ensamble en una forma rápida.



Figura 5. Ensamble de los módulos de la estructura

Para el primer escenario virtual, entre las condiciones de borde (se remite al lector a profundizar en la lectura de Teoría de Campos según se estudia en Matemática y a Teoría de Sistemas en Sociología) se simulará que la estructura está anclada al piso. Considerar este caso extremo permite determinar los nodos críticos de la estructura. La suposición asumida es compatible con la situación real donde la única carga actuante es el peso propio de la estructura. Esta restricción se definirá en el campo llamado *Restraints*. Así se determinará los nodos críticos de la estructura en este escenario extremo [4].

Dentro de la pantalla de interface aparece un tetraedro en pantone verde que señala el centro de gravedad de la estructura, mismo que coincide con el centro de momentos.

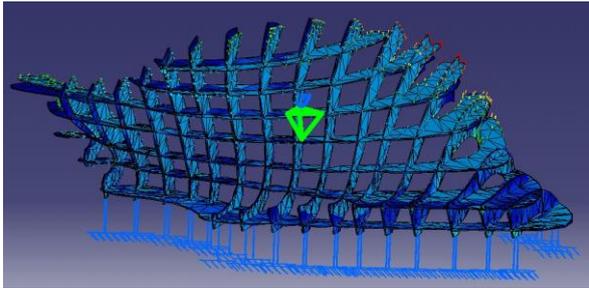


Figura 6. Resultados del análisis de elementos finitos

La estructura que se está estudiando está diseñada para ser un objeto expositivo de carácter efímero, por ello su material es la madera y por facilidades de manufactura es de madera prensada o enchapada.

Para completar este escenario se establecerá la carga como densidad de peso para cada tablón usado en la construcción de la estructura. Esta densidad se manifiesta de manera adimensional como unidades de masa en relación al área. El área que aquí se considera es el área proyectada de la cara superior de cada tablón. El valor de la última columna es el que se denomina *Pressure* dentro de CATIA-V5R21.

Tabla No. 1 Determinación de la densidad de los tableros de la estructura

HORIZONTALES				
Tablero	Masa	Área total	Área cara superior aproximada	Densidad de carga aproximada
	kg	cm2	cm2	kg/cm2
1	25,29	5,863	2,9315	8,62698277
2	25,405	5,915	2,9575	8,59002536
3	14,334	3,407	1,7035	8,41444086
4	13,78	3,266	1,633	8,43845683
5	11,256	2,695	1,3475	8,35324675
6	7,07	1,704	0,852	8,29812207
7	5,278	1,274	0,637	8,28571429

La densidad de carga calculada se ubica en el campo *Loads* como una carga de tipo *Pressure*. Como son siete niveles de tableros se tiene siete cargas del tipo *pressure*.

Las soluciones que el software brinda son apreciables en un mapa de colores como el del gráfico siguiente, donde se ha tomado como ejemplo el esfuerzo combinado de Von Mises. En la parte de derecha se encuentra la banda de colores que explica la distribución de esfuerzos para el modelo planteado. Esta banda varía entre al azul y el rojo. El azul muestra la combinación de esfuerzos menos crítica para la estructura analizada. El rojo muestra las zonas más críticas.

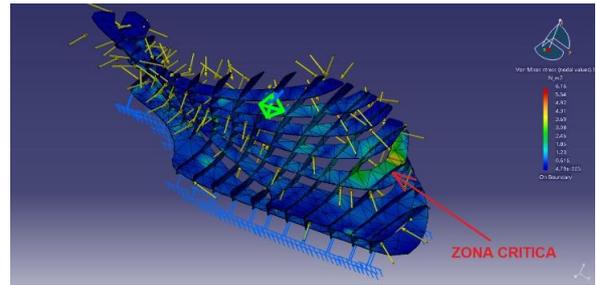


Figura No. 7 Resultados del análisis de elementos finitos

El segundo escenario considerará un caso de volteo de la estructura, en el momento justo previo al volteo. Así se determinará la carga máxima que puede soportar antes de que se produzca el evento.

Como se ha dejado entrever en un párrafo anterior las posibilidades de análisis estático pueden extenderse al análisis de comportamiento dinámico lo cual se hará en el futuro incorporando un transitorio para analizar las vibraciones de la estructura [23].



Figura No. 8 Pérdida de continuidad

4. Conclusiones

Una vez presentados a modo de ensayo, los componentes de ingeniería del proyecto de investigación llamado: “Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes”, estos son: el modelo teórico basado en la Autopoiesis planteado por Schumacher y sus respectivos antecedentes, las disciplinas científicas y técnicas que de manera transversal permitirán la validación experimental del producto estudiado, la descripción básica del modelo de simulación matemática en software y el resultado que se espera de parte del Proyecto, queda realizar las pruebas experimentales escogidas [8] para compararlas con los resultados que el software produzca, y en base al Análisis de Valor Agregado sustentar el modelo teórico de metodología que permita una creación recurrente de diseño de objetos de manera paramétrica y parametricista.

Se debe enfatizar que el diseño de producto involucra la interacción de varias disciplinas profesionales, debido a lo cual es necesario elaborar un plan estratégico que defina las tareas y las operaciones que permitan su realización. Además, es necesario definir explícitamente los recursos que serán utilizados. Aquí, el tiempo es el recurso más difícil de estimar dentro de la planeación, con el fin de medirlo durante la realización del proyecto y estimar su cuantificación en valor económico. En el Ecuador, generalmente, el costo del tiempo es subestimado en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se puede mostrar esta situación cuando se aplica la curva de aprendizaje acelerada que se produce cuando la transferencia de tecnología es implantada para enseñar software en actividades específicas.

Para las tareas de análisis de ensamble estructural, existen protocolos específicos definidos por academias y gremios profesionales, asociaciones técnicas y regulaciones gubernamentales. Sin embargo, no hay protocolos que integren tareas interdisciplinarias y que asocien cada uno de los resultados obtenidos por cada disciplina de ingeniería aplicada, y en el caso de este ensayo con el diseño.

Las tareas interdisciplinarias se vuelven más complicadas de integrar cuando se decide el uso de interfaces de herramientas digitales, ya que están di-

señadas de acuerdo con sus usuarios potenciales y los resultados que desean obtener de su aplicación. Por lo tanto, es necesaria una visión holística de los procesos y partes del proyecto para combinar las diferentes visiones profesionales, los objetivos individuales de cada diseñador y las herramientas digitales aplicables a cada modelo involucrado en el estudio.

Debido a la irrupción tecnológica contemporánea, los niveles de transferencia de tecnología desde los centros de desarrollo a sus sociedades periféricas son bajos. Esto se explica en el sentido de que la pendiente de la curva de aprendizaje para las personas aumenta.

Del mismo modo, se reduce la vida útil de los productos, principalmente el hardware que soporta el software. A pesar de la relevancia de Internet, los conceptos básicos y fundamentales que sustentan la ciencia y, por lo tanto, la tecnología y la tecnología que se derivan de ella, no se consideran la fuente necesaria para la aplicación creativa e innovadora de poderosas herramientas digitales y tecnológicas.

Al mejorar el análisis basado en los resultados ya obtenidos, se observó que en un sistema complejo armado con ensamblajes auto rígidos y en el que existe la posibilidad de sistemas de carga múltiple, la intuición de los criterios para incorporar el producto analizado no es suficiente.

Por lo tanto, el primer experimento digital permitió guiar el uso de la estructura de la exposición. Incluso su funcionamiento podría validarse mientras se analiza en el software.

Tampoco la mera aplicación de estándares de construcción permite una predicción precisa para casos como el analizado en este artículo. Esto se debe a que están desarrollados para sistemas modulares estáticos que responden a disposiciones de cuadrícula rectangular. Es decir, no se implantan de acuerdo con un ritmo de acoplamiento dinámico. Además, esos sistemas, debido a sus características estáticas, no tienen pronósticos para análisis armónicos como los que se enviarán al objeto construido en un corto período de tiempo. Nuestros resultados demuestran que la inferencia de la simulación digital no es suficiente para el caso de los sistemas que presentan altos niveles de complejidad. Lo cual se puede analizar en otro artículo.

Referencias

- [1] J. Trujillo y J. Cadena, El pensamiento mitológico como sistema cognitivo de las etnociencias, Quito : Revista Anales, 2015.
- [2] V. L. Duc, «Viollet-Le-Duc y la visión europea de la Arqueología maya en el siglo XIX,» 09 06 1980. [En línea]. Available: <http://www.danielschavelzon.com.ar/?p=2519>. [Último acceso: 25 05 2019].
- [3] Jácome-Monar, E. P. a. Rojas y M. C. Valverde, «La Autopoiesis de la Arquitectura como Marco Teórico para Sustentar el Uso Eficaz de la Tecnología en el Diseño de Producto,» *TECNOLOGÍA & DISEÑO*, 2018.
- [4] Rodríguez y M. a. Torres, «Autopoiesis, la unidad de una diferencia: Luhmann y Maturana,» *Sociologías*, pp. 106--140, 2003.
- [5] Engineering, «engineering.com,» 27 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/14609/3D-Printed-Device-Changes-Color-in-Response-to-Mechanical-Stresses.aspx?ENGCOM=>. [Último acceso: 2019].
- [6] J. A. V. Angulo, Análisis y Diseño de Piezas con Catia V5 2a Ed.: Método de elementos finitos, Marcombo, 2011.
- [7] P. A. Miguel, «Escher y la banda de Moebius. Antonio Córdoba.,» Madrid Blogs, 15 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/CienciayPoesia/author/pedroalonso>. [Último acceso: 2019].
- [8] M. P. Bendsøe y S. Ole, «Esquemas de interpolación de materiales en optimización de topología.,» *Archivo de mecánica aplicada*, n° 69, pp. 635-654, 1999.
- [9] M. P. Bendsøe y O. Sigmund, Optimización de topología: teoría, métodos y aplicaciones., Springer Science & Business Media, 2013.
- [10] J. L. Medina Pasaje, Metodología y Herramientas UML para el Modelado y Análisis de Sistemas de Tiempo Real Orientados a Objetos, Santander: Universidad de Cantabria, 2006.
- [11] S. Ahlquist y A. Menges, «Metodologías de diseño computacional basadas en el comportamiento: procesos integradores para forzar estructuras materiales definidas,» *CUMINCAD*, 2011.
- [12] M. A. Anido, R. López y H. E. Rubio Scola, «Las supersuperficies en el aprendizaje de la geometría,» *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, vol. 9, n° 3, pp. 335-360, 2006.
- [13] A. Ermakova, «Elementos finitos adicionales y cargas adicionales para el análisis de sistemas con varias propiedades no lineales.,» *Procedia Engineering*, vol. 150, pp. 1817-1823, 2016.

El rol del diseño industrial en la movilidad sostenible del D. M. Quito

The Role of Industrial Design in the Sustainable Mobility of D. M. Quito

Remache A.1; Arroyo F.2

1 Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Quito, Ecuador
email: abelbelo@hotmail.com

2 Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. Valladolid, España
email: flavio.arroyo@gmail.com

Información del artículo

Recibido: enero 2020

Aceptado: marzo 2020

RESUMEN

El presente artículo analiza la movilidad sostenible, sus características, su relación con el diseño industrial, ventajas y puntos clave de enfoque para la concepción de esta en la Ciudad de Quito, especialmente el proyecto de movilidad Metro. Con las características de las Smart City, se busca el desarrollo de la sociedad estableciendo un equilibrio ambiental, social y económico y utiliza la tecnología como aliado para poder sustentar su desarrollo analizando los diferentes proyectos de transporte implementados en las ciudades más desarrolladas, presentándose como el mayor problema que se atraviesa, y para ello el diseño industrial surge como respuesta para lograr construir una ciudad inteligente enfocada en mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones y procesos de innovación, la prestación de los productos y servicios urbanos y su competitividad gracias a que es capaz de comprender los procesos tecnológicos, sociales y del entorno desde una perspectiva sistémica, en la que las relaciones constituyen la base de su acción, brindando soluciones claras y rentables para transformar las ciudades actuales en Smart Cities. El metro de Quito actualmente es el proyecto más importante dentro del área de movilidad de la ciudad, el cual impone un nuevo hito hacia la prosperidad en el desarrollo de las ciudades inteligentes de Latinoamérica, otorgando una facilidad para movilizarse en los medios de transporte, reducción del tránsito vehicular, mayor acogida de extranjeros y propios y logrando el contento y comodidad de sus residentes y ciudadanos en esta nueva era.

Palabras Clave: *Movilidad sostenible, transporte, desarrollo sostenible, diseño industrial, Smart cities*

ABSTRACT

This article analyzes the mobility sustainability, their characteristics, their relationship with industrial design, advantages and key points of focus for the design of this in the City of Quito, especially the Metro mobility project. With the characteristics of the Smart City, the development of society is sought by establishing an environmental, social and economic balance and uses technology as an ally to sustain its development by analyzing the different transport projects implemented in the most developed cities, presenting itself as the biggest problem that is going through, and for this industrial design arises as a response to build an intelligent city focused on improving decision making, the efficiency of operations and innovation processes, the provision of urban products and services and their competitiveness thanks to its ability to understand technological, social and environmental processes from a systemic perspective, in which relationships are the basis of its action, providing clear and profitable solutions to transform current cities into Smart Cities. The Quito metro is currently the most important project within the area of mobility of the city, which imposes a new milestone towards prosperity in the development of smart cities in Latin America, providing a facility to mobilize in means of transportation, reduction of vehicular traffic, greater reception of foreigners and their own and achieving the contentment and comfort of its residents and citizens in this new era.

Keywords: *Sustainable mobility, transport, sustainable development, industrial design, Smart cities*

1. Introducción

El objetivo principal es analizar el desarrollo de las ciudades inteligentes en la actualidad, tomando en cuenta el diseño industrial como punto de enfoque y verificar que en este sentido pueda adaptarse en el Distrito Metropolitano de Quito, especialmente en el proyecto de movilidad “Metro de Quito”.

En todo el mundo el crecimiento de la población urbana es exponencial y a medida que aumenta aparecen nuevos problemas y necesidades que satisfacer dentro del desarrollo de las ciudades, como las soluciones europeas y asiáticas más destacables. Con las características de las Smart City, se busca el desarrollo de la sociedad estableciendo un equilibrio ambiental, social y económico y utiliza la tecnología como aliado para poder sustentar su desarrollo analizando los diferentes proyectos de transporte implementados en las ciudades más desarrolladas, presentándose como el mayor problema que se atraviesa, y para ello el diseño industrial surge como respuesta para lograr construir una ciudad inteligente enfocada en mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones y procesos de innovación, la prestación de los productos y servicios urbanos y su competitividad gracias a que es capaz de comprender los procesos tecnológicos, sociales y del entorno desde una perspectiva sistémica, en la que las relaciones constituyen la base de su acción, brindando soluciones claras y rentables para transformar las ciudades actuales en Smart Cities.

El diseño de políticas y sistemas de movilidad urbana se ha convertido en un problema clave de investigación e intervención para los gobiernos y otras partes interesadas en promover los objetivos de sostenibilidad. La movilidad sostenible es un desafío relevante abordado hoy por los líderes políticos, gerentes públicos e investigadores de todo el mundo. La movilidad sostenible es un término que resume lo que está en juego en los intentos contemporáneos de corregir el equilibrio de costos y beneficios en el sector del transporte [1] [2] [3] [4] [5] [6].

Concretamente la metodología de Diseño para la Sustentabilidad (D4S) juega un papel muy importante cuando se asocia a modelos de producción sostenibles, considerando el desarrollo del producto como un sistema integrado donde cada decisión influye en todo el proceso y produce dife-

rentes impactos en el medio ambiente. El D4S consiste básicamente en innovaciones tecnológicas y procedimientos metodológicos que tienen como objetivo ayudar a los diseñadores y tomadores de decisiones a producir bienes y servicios económicamente viables y ecológicos [7] [8].

Por otra parte, la movilidad sostenible es el modelo de movilidad que permite el movimiento con un impacto ambiental y territorial mínimo [9] [10] [11]. William R. Black, da una definición correcta sobre transporte sostenible genera controversias y desacuerdos, ya que, según él, sería la capacidad de satisfacer las necesidades de transporte actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer estas necesidades [12]. Claus Doll y Martin Wietschel añade que los sistemas de transporte realizan las funciones vitales para la sociedad, pero en su estado actual no puede ser considerado sistemas sostenibles. Preocupaciones particulares en este sentido incluyen el cambio climático, las emisiones locales de aire, el ruido, la congestión y los accidentes [13]. Los impactos negativos del sector del transporte en el medio ambiente también son cada vez más evidentes [14] [15].

El transporte es un factor importante en el contexto del desarrollo sostenible debido a la presión que ejerce sobre el medio ambiente, sus impactos económicos y sociales y sus vínculos con otros sectores.

La gobernanza sostenible de los sistemas de transporte sigue siendo un desafío importante para los responsables políticos de todo el mundo, especialmente en las ciudades. Las áreas urbanas se están desarrollando rápidamente desde un punto de vista tecnológico, y las tecnologías innovadoras crean nuevas posibilidades para la gestión inteligente de la movilidad. Se espera que la implementación del concepto de ciudad inteligente exhiba un alto potencial en términos de movilidad sostenible y mitigación de emisiones [16] [17].

La movilidad inteligente es un concepto amplio que facilita el logro de un desarrollo sostenible mediante la optimización de los servicios de transporte, teniendo en cuenta los desafíos tecnológicos, sociales, económicos y ambientales. La protección del medio ambiente es un aspecto importante de diversas políticas mundiales y europeas. La movilidad con bajas emisiones es una parte esencial del cambio más amplio hacia la economía circular baja en carbono necesaria para satisfacer las necesida-

des de movilidad de las personas y el transporte de mercancías. Para garantizar la mejora deseada en la movilidad, se emprendieron muchas iniciativas en los últimos años [18].

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) con una población aproximada de 2'239.191 habitantes, según el informe de movilidad genera un 4'600.000 desplazamientos, que pueden ser utilizados de en diferente modalidad. Se demuestra que el modo preferencial de desplazamiento de los habitantes en el DMQ es el transporte público, que en términos generales representa el 61,3% y con relación a los modos motorizados el 73%. [19].

El aire ha sido uno de los recursos que más ha sufrido contaminación debido al incremento poblacional y económico de las ciudades. Es así que la principal fuente de contaminante del aire de Quito son las fuentes móviles, es decir la contaminación que causan los vehículos motorizados en las emisiones que se dan a partir de la combustión de la gasolina de cualquier tipo y diésel. El incremento del parque automotor en la ciudad, incremento de circulación y tiempos de viaje son los factores fundamentales en la generación de contaminantes a la atmosfera de Quito. Según el Ministerio de Ambiente el 76% de la contaminación proviene de los automóviles y esto ha tenido consecuencias respiratorias a más de 1012 millones de personas [20].

Los mapas de emisión del tráfico, se estructuran típicamente en base de mapas de intensidad de tráfico como muestra la figura.

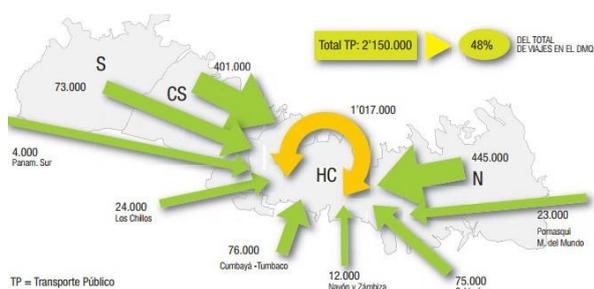


Figura 1. Número de desplazamientos motorizados al día en Quito [21]

2. Método

El presente trabajo emplea una metodología basada en la Investigación Científica y el Método Deductivo Indirecto, el cual permitió la deducción de conclusiones acerca de la temática tratada en el de-

sarrollo del documento, esta metodología fue empleada para el análisis de la movilidad sostenible y cómo el diseño industrial actúa como herramienta clave para el desarrollo de productos y servicios con el fin de construir una ciudad inteligente enfocada en la movilidad de sus ciudadanos.

2.1. Movilidad Smart

Según el Libro Blanco Smart Cities [22], la estructura de una Smart City está conformada por los siguientes elementos: Espacio urbano, Sistema de infraestructuras, Complejo de redes y plataformas inteligentes y Ciudadanía que ejerza de eje vertebrador.

Así mismo, el libro blanco recomienda aplicar principios que estén articulados entre sí, tales como: La infraestructura tecnológica: redes de información como mecanismo de comunicación, plataformas inteligentes, infraestructuras ecoeficientes, etc.; la estrategia energética: uso de energías renovables, sistemas de almacenamiento y aprovechamiento de energía, etc.; la gestión y protección de los recursos: ordenación del territorio y de los recursos basada en criterios de sostenibilidad, cooperación entre administraciones, etc.; la provisión de servicios: desarrollo de nuevos modelos colaborativos que permitan integrar lo público y lo privado, modelos de servicios mancomunados, etc.; el Gobierno: accesibilidad de los datos, transparencia en la gestión, aplicación de políticas sostenibles, entre otras [22].

2.2. El diseño Industrial en la movilidad

Una forma de materializar el concepto de sostenibilidad es a través del estudio de los indicadores ambientales en el contexto de la movilidad urbana juegan un papel clave en la evaluación de la influencia de los diferentes modos de transporte, ya sean individuales o colectivos, motorizados o no motorizados, y en la reducción de la contaminación del aire, entre otros asuntos relacionados a la protección del medio ambiente. Los indicadores sociales también son útiles para evaluar la mejora de las condiciones de desplazamiento de la población en las zonas urbanas, incluida la proximidad a los servicios de transporte, la comodidad y la puntualidad [15].

El objetivo primordial del diseñador dentro de las smart cities es humanizar la tecnología utilizada

para conectar a los humanos entre sí y que esta sea lo más cercana posible a su entorno para que no le parezca extraña y la adopte con naturalidad. Además, el diseñador se convierte en un actor importante en el proceso de ayudar a la comunidad a generar respuestas que le ayuden a solventar sus problemas con metodologías participativas aplicadas en la innovación social. [23].

2.3. Proyectos de movilidad

A nivel Nacional podemos analizar los pilares del Plan Nacional de seguridad Vial establecido en 2013 y que sigue en vigencia actualmente, cuyos objetivos se verían cubiertos en los resultados de una ciudad inteligente. Este plan busca establecer la obligatoriedad de la aplicación de parámetros de seguridad definidos por MTOP, en el desarrollo de proyectos integrales de infraestructura vial, impulsar la aplicación de mejores tecnologías de seguridad pasiva y activa de los vehículos, promover una mejora continua en el comportamiento de los usuarios de las vías, garantizar una atención integral, oportuna y óptima a las víctimas de los siniestros. [24].

El DMQ ha implementado en su sistema de transporte varios medios de movilización, en donde, el transporte de buses colectivos es el más utilizado por al menos el 70% de la población e incluye: Sistema Trolebús, la Ecovía, el corredor Central Norte y el corredor Sur Oriental. Según Vizcarra (2010) el sistema de transporte está integrado por buses y colectivos urbanos que tienen 134 líneas convencionales de transporte público operadas por 2136 buses urbanos y buses interparroquiales compuestos por 46 líneas operadas por 500 buses de servicio micro regional [25].

Otra medida de movilidad es el denominado Pico y placa, siendo esta una medida de restricción vehicular implementada inicialmente en la ciudad de Bogotá. Es una medida de gestión de la demanda de transporte para racionar el uso de una escasa oferta de transporte ante una demanda excesiva. Esta norma de tránsito impone una restricción de circulación obligatoria en el área urbana a vehículos privados tipo automóvil y de servicio público en horarios “pico” (horarios con mayor afluencia de tráfico), dependiendo del último número de placa el automóvil, pretendiendo reducir con ella

el colapso circulatorio que se formaba en estas horas. Dentro de su aplicación, cada año se rota el día de restricción de acuerdo al número de placa del vehículo. [26]. El Pico y Placa comprende las avenidas Morán Valverde, al sur; Diego de Vásquez, al norte; Mariscal Sucre, al occidente; y Simón Bolívar, al oriente. La restricción será de 07:00 a 09:30 y de 16:00 a 19:30. La medida forma parte de un conjunto de acciones que aplica el Cabildo para mejorar la movilidad [27].

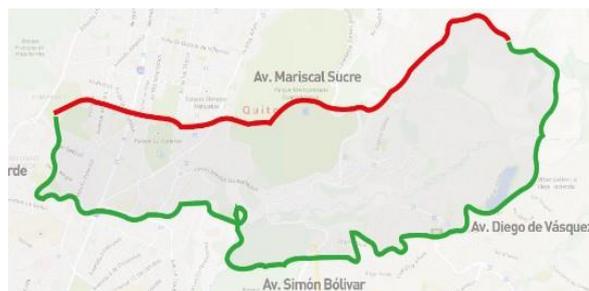


Figura 2. Perímetro de aplicación ordenanza Pico y Placa [27]

El 9 de octubre del 2019 entró en vigencia la restricción vehicular “hoy no circula” reemplazando el “pico y Placa”, si bien esta ordenanza no tiene como objetivo principal resolver el tema del tránsito en el D. M. Quito, se podría analizar los resultados que se tenga a mediano plazo.

El sistema de transporte público “Ecovía” fue el segundo sistema de transporte implementado en Quito. Comenzó su funcionamiento en 2001 en el tramo comprendido entre el Playón de la Marín y la estación Río Coca. Este corredor se complementó en 2011 con la apertura de la extensión Sur Oriental, que hoy tiene conexión con la terminal Quitumbe y con la nueva Terminal Sur Ecovía [28]. El sistema de transporte corredor Sur Occidental, se implementó en 2012, diseñado para brindar servicio y complementar el transporte en los barrios del sur del Distrito. Este sistema cuenta con un corredor exclusivo que une Quitumbe con la terminal de transferencia ubicada en el Seminario Mayor. Desde allí, los usuarios pueden trasladarse al corredor central norte, MetrobúsQ, y llegar hasta el sector de la Ofelia en el noroccidente de la ciudad. Adicionalmente, el sistema municipal de transporte administrado por la EPMTQP cuenta con más de 40 líneas alimentadoras y de integración, las cuales amplían su cobertura y ofrecen a los usuarios alternativas económicas para movilizarse y cumplir con sus actividades cotidianas. Cada día,

la Empresa transporta alrededor de un millón de pasajeros en todos sus circuitos y rutas. [28]

Otro esfuerzo que se ha gestionado se ve en la integración de un bus eléctrico (Cero gases contaminantes) que empezó a circular en el DMQ desde el 11 de diciembre de 2017, con una longitud de 18 metros, capacidad para 160 pasajeros, y limita su velocidad a 60 kilómetros por hora. [29]. El bus tiene una potencia de 360KW/h, equivalente a 482 HP (caballos de fuerza); sus baterías se recargan en 3 horas, y su vida útil es de 15 años [30]. Se ha propuesto que el sistema de transporte público al 2020 dentro del DMQ tenga un transporte público con cero emisiones de carbono [31].



Figura 3. Primer bus eléctrico del Ecuador [30]

BICIQUITO considerada como la Bicicleta Pública de Quito está a disposición de los usuarios, y ha sido una implementación basada en varias experiencias generadas en otros países. El sistema consiste en el préstamo gratuito de las bicicletas para transportarse dentro del perímetro establecido [32].

Existe un plan futuro que consiste en la construcción de un sistema de monorriel desde el valle de los Chillos hasta el DMQ, en donde se pretende beneficiar a más de 300 000 usuarios [33].

3. Discusión y Resultados

En el Distrito Metropolitano de Quito, el transporte público (buses del sistema metro-Q, buses urbanos e interparroquiales) representa el 62.8% del total de medios de transporte utilizados por los ciudadanos para movilizarse [34]. El parque automotor en el DMQ en el factor de mayor inciden-

cia en el incremento de las congestiones de tráfico, cada vez más severas durante los períodos pico del día de manera especial en el hipercentro de la ciudad, evidenciando estos inconvenientes en la red vial principal de los Valles de los Chillos, Tumbaco y Cumbayá [35].

La demanda de transporte masivo e individual va relacionada con el crecimiento demográfico acelerado en los centros urbanos. El tráfico y la movilidad, en términos de transporte, son la causa principal de los impactos negativos al ambiente urbano como la contaminación del aire, el ruido, el consumo excesivo de recursos y la ocupación extensiva del espacio. El parque vehicular del DMQ esta predominado por lo automotores livianos que evidencia una tendencia en alza en propiedad de vehículos por habitante [35].

Cada ciudad muestra como está funcionando cada sociedad internamente, y las ciudades comúnmente albergan o concentran grandes grupos humanos tal como muestran los últimos informes de la ONU, en donde se prevé que en el año 2050 las ciudades concentraran al 70% de la población mundial [22]. En la siguiente figura se puede evidenciar que el crecimiento de la población en las ciudades y en el mundo es exponencial:

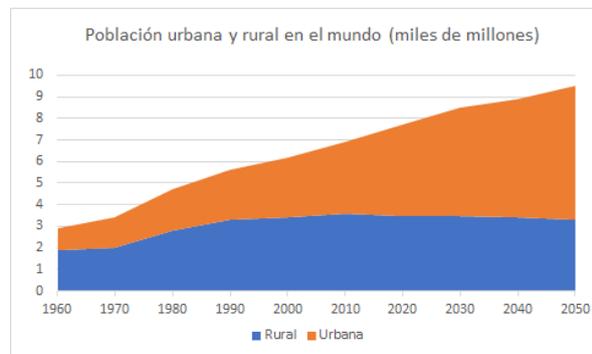


Figura 4. El aumento a nivel mundial de los habitantes de las ciudades [36].

En el planeta, las ciudades representan apenas el 2% del espacio, pero el consumo de energía corresponde al 60% al 80% del mundo y generan aproximadamente el 75% de las emisiones de carbono. En las ciudades de América Latina y El Caribe, se estima que concentran el 36% de la población total [37]. Así como puede ser impresionante la concentración demográfica también puede representar un escenario necesario para implementar la idea

de las Smart Cities, o crear una nueva ciudad. Esto con el afán y visión de la apertura de nuevos negocios. En la siguiente gráfica se puede observar el crecimiento de las Smart Cities por sector.

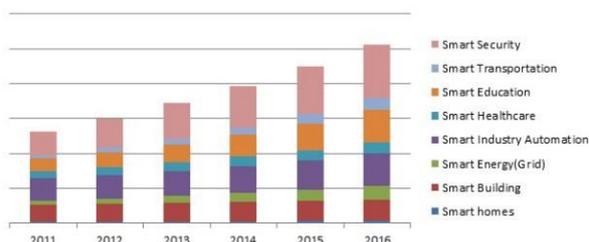


Figura 5. Crecimiento del mercado de Smart Cities por sector, según el informe de Markets and Markets [22]

Se afirma que en el año 2017 se mal gastaban casi €300 millones en energía, en comida desperdiciada alrededor de €150 millones, pérdidas por congestiones €100, y la muerte de 7 millones de personas por causa de la contaminación. Se cree que una ciudad inteligente debe basar su tecnología y sus aparatos de uso cotidiano a combatir estas principales pérdidas de manera ordenada y sabia [38].

Una Smart City se esfuerza por promover la seguridad a todo nivel, la sostenibilidad, la mejora y optimización de las infraestructuras y los sistemas de transporte en todas las modalidades. Uno de los principales retos en la actualidad de una Ciudad Inteligente se manifiesta en el control del tráfico con el fin de mejorar varias consecuencias que conlleva el no tener una buena gestión en este ámbito tales como son la productividad, uso de combustible, niveles de emisiones de carbono, enfermedades, entre otras. Las Smart Cities impulsan el uso y cambio de matrices energéticas renovables y modos de transportes sustentables (energía limpia) [39]. La mejora del transporte público es un factor extremadamente fundamental para la movilidad sostenible y la optimización del uso del tiempo [40].

El transporte público representa un eje fundamental para vertebrar la estrategia de movilidad de una Smart City, ya que, en sus distintas vertientes (autobús, suburbano, tren), aventaja claramente en términos de sostenibilidad y eficiencia energética al transporte privado. Tal y como se recoge en el siguiente gráfico, desde el punto de vista del consumo energético por viajero y por Km, el transporte público es aproximadamente 6 veces más eficiente que el vehículo privado:

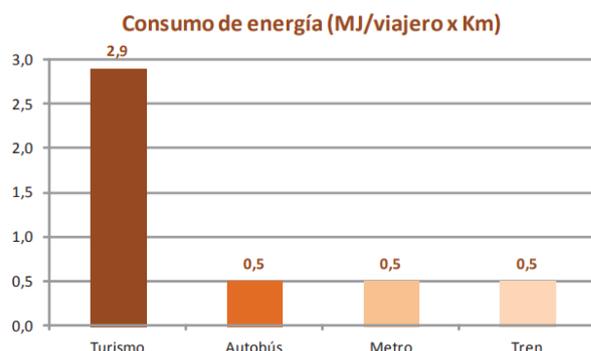


Figura 6. Comparación de la energía consumida por viajero y kilómetro de recorrido, en función del medio de transporte [22]

El Municipio de Quito apoyará su planificación de ciudad a través de “Big Data una extensa y variada base de datos que se obtienen a través de la información que generan los usuarios de telefonía celular y a través de los cuales se pueden crear soluciones en torno a la movilidad que se desarrollará en conjunto entre el Municipio de Quito, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Telefónica Movistar. Esta permitirá establecer lineamientos para articular servicios para la ciudadanía, como lo hacen las Smart Cities. Que permitirá el desarrollo de política pública y obras dirigidas hacia la comunidad [41].

Además, permitirá analizar datos en tiempo real y de forma dinámica y con ello modelar proyectos que mejoren la movilidad, conociendo cómo se mueven las personas, los puntos críticos de embotellamiento y otros datos que confluyen en la movilidad [42].

Actualmente Quito cuenta con un plan de Movilidad Sostenible, delineado por la construcción de obras significativas como las Ciclovías, Quito Cables, BiciQuito, los Buses eléctricos, la aplicación MovilizateUIO y el Metro de Quito, que demuestran el verdadero interés de transformar a Quito en una ciudad ejemplo en temas de movilidad sostenible [43].

Metro de Quito abre la posibilidad de repensar la ciudad, construir un esquema integral de desarrollo urbano en torno a esta gran obra, contar con esta herramienta será fundamental para hacerla de manera más eficaz [44]. El metro está planificado como el eje central del Sistema Integrado de Transporte de Pasajeros (SITP) del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Está previsto que el

SITP lo componen, además del tren subterráneo, el sistema de alimentadores, el transporte convencional, el servicio interparroquial, el Trolebús y los corredores municipales. De acuerdo con el plan, el sistema integrado de transportación permitiría que el 93% de los usuarios de servicio de transporte público hallen una parada a menos de 4 cuadras de su hogar o lugar de trabajo [44].

En el mundo existen varios ejemplos de cómo el diseño industrial ha desarrollado productos de movilidad con un enfoque al servicio público, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y promoviendo un equilibrio entre el medioambiente y el crecimiento de una ciudad.

Un vehículo representa para la ingeniería de transporte la unidad básica sobre la cual se diseñan, calculan y planean los sistemas de transporte público, con el objetivo de satisfacer las necesidades de una población en condiciones aceptables de confort, confiabilidad y eficiencia. En el caso del diseño automotriz, este vehículo es el objeto que desarrolla teniendo en cuenta necesidades humanas, factores funcionales, prestaciones al usuario, características que permitan su producción en entornos industriales y conceptos estéticos y conceptuales que le dan la forma y la materialidad [45].

De igual forma es un objeto de diseño cuyo objetivo es transportar a distintas personas, sin que estas tengan la intención y la necesidad de comprarlo, a diferencia de cualquier otro tipo de vehículo, que se diseña incluso, pensando en cosas distintas a “transportar”, pues el vehículo de transporte público se diseña pensando en transportar, lo que convierte a su comprador en una persona distinta a su usuario [45].

Los usuarios de los sistemas de transporte público urbano, son pasajeros transportados y son personas que necesitan desplazarse en un vehículo público y tienen unos requerimientos operacionales del sistema por los cuales están dispuestos a pagar, convirtiéndolos en sujetos que pueden ser cuantificados y que demandan ciertas características de estos sistemas.

Es necesario diseñar ciudades donde los peatones puedan andar más e ir más en transporte alterno y tener acceso a transporte público que esté a solo 10 minutos caminando desde un punto de partida. Es necesario un plan integrado para poder saber

cuándo va a venir un bus y transferencias integradas para no pagar dos veces, para crear un mejor uso de los vehículos [46].

4. Conclusiones

Las ciudades constituyen una importante amenaza para el ecosistema del planeta; las cifras muestran un crecimiento exponencial de la población y en el área urbana, pero al mismo tiempo, al tratarse de los mayores polos de concentración de talento, conocimiento y capacidad de innovación, por lo que conviene empezar a trabajar en las oportunidades para contribuir a nuestra calidad de vida y bienestar social a partir de la conversión de ciudades en Smart Cities.

El fin de la tecnología dentro de las Smart Cities es que la gente hable el mismo lenguaje, que las ciudades se hagan entender de la misma manera para los lugareños y visitantes, es generar comunicación efectiva, por lo que el diseño industrial se convierte en un articulador de conocimientos de diferentes disciplinas que traduce a un lenguaje entendible por todos, demuestra el poder de la acción colectiva para resolver problemas desde la inclusión, la sostenibilidad y la resiliencia y, sobre todo, unifica bajo un objetivo común.

El diseño es difícil de medir. Pero puede destacar por la superior calidad de un diseño. Grandes urbes, tienen en el diseño urbano, su valor diferenciador, potenciarlo, agrandararlo y aumentar su valor, genera un beneficio no percibido en los ciudadanos. Se debe promover la participación y la innovación en el diseño urbano. Para inventar y alcanzar un de futuro con capacidad de crear ventajas competitivas. No cabe duda de que las Smart Cities son un sector fértil para la innovación, un espacio abierto donde las propuestas y categorías de servicios y surgen productos. Este campo abre oportunidades y nuevos desafíos del mercado para el diseño industrial y para empresas.

El diseño industrial claramente tiene una fuerte presencia en el metro de Quito, ya que cada vagón está netamente diseñado para la comodidad y flujo de los pasajeros. Uno de los mayores problemas de la ciudad de Quito es la movilidad, y con este proyecto podemos evidenciar como el diseño industrial presenta una solución atractiva y moderna que cumple con el objetivo de construir una

ciudad inteligente enfocada en la movilidad de sus ciudadanos.

El lograr construir una ciudad Inteligente es un duro trabajo, que con las herramientas y metodologías necesarias nos facilitara llegar a nuestro objetivo. Una ciudad sostenible es el objetivo de muchos países ya que con todos los cambios climáticos que se están dando en la actualidad el desarrollo tecnológico con un enfoque sostenible es la única forma de actuar para prevenir futuros problemas ambientales, sociales y económicos.

Aplicar el modelo de smart city es una solución que debe considerar la ciudad de Quito, sobre todo para mejorar en cuanto a destino turístico. Aunque es imposible convertirse en ciudad inteligente de forma inesperada y es un proceso extenso y con resultados a largo plazo, ser una smart city significa, mejorar la gestión de la movilidad ayudando a ofrecer una experiencia óptima a turistas y ciudadanos. - La ciudad vista la necesidad de avanzar, innovar y modernizarse, ya ha llevado a cabo algunos proyectos propios de una smart city que están relacionadas con la mejora sostenible, la gestión y participación ciudadana, la transparencia del gobierno y el uso de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

Referencias

- [1] L. Giorgi, «Sustainable mobility. Challenges, opportunities and conflicts – a social science perspective,» *International Social Science Journal*, pp. 179-183, 2004.
- [2] United Nations Centre for Regional Development, *Mobility and NMT in Sustainable Urban Development –Role of City*, Ulaanbaatar: UNCRD, 2018.
- [3] OECD, *Managing the Fundamental Drivers of Transport Demand*, París: ECMT Publications, 2003.
- [4] OECD, «Towards Green Growth: Monitoring Progress,» OECD, Paris, 2011.
- [5] G. Santos, H. Behrendt y A. Teytelboym, «Part II: Policy instruments for sustainable road transport,» *Research in Transportation Economics*, pp. 46-91, 2010.
- [6] B. Elzen, F. W. Geels y K. Green, *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2004.
- [7] UNEP, *Design for Sustainability*, País: UNEP, 2006.
- [8] H. B. de Barros Pereira y P. F. de Almeida Souza, «Design for Sustainability,» *5th European Academy of Design Conference*, pp. 1-17, 2003.
- [9] T. Goldman y R. Gorham, «Sustainable urban transport: Four innovative directions,» *Technology in Society*, pp. 261-273, 2006.
- [10] P. Nijkamp, U. B. Erik Verhoef y C. Rodenburg, «Sustainable mobility,» *Transportation engineering and planning*, pp. 1-10, 2001.
- [11] P. Nieuwenhuis, P. Vergragt y P. Wells, *The Business of Sustainable Mobility: From Vision to Reality*, New York: Routledge, 2017.
- [12] W. R. Black, «Socio-economic barriers to sustainable transport,» *Journal of Transport Geography*, pp. 141-147, 2000.
- [13] C. Doll y M. Wietschel, «Externalities of the transport sector and the role of hydrogen in a sustainable transport vision,» *Energy Policy*, pp. 4069-4078, 2008.
- [14] D. Banister, «Cities, mobility and climate change,» *Journal of Transport Geography*, pp. 1538-1546, 2011.
- [15] J. M. López Pol y M. d. V. Segarra-Oña, «Smart Cities: nuevos focos de innovación para un desarrollo sostenible,» *Universidad Politécnica de Valencia*, pp. 1-29, 2013.
- [16] P. Neirotti, A. De Marco, A. C. Cagliano, G. Mangano y F. Scorrano, «Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts,» *Cities*, pp. 25-36, 2014.
- [17] T. Nam y T. A. Pardo, «Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions,» *The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research*, pp. 282-291, 2011.

- [18] J. Zawieska y P. Jana, «Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation,» *Transport Policy*, pp. 39-50, 2018.
- [19] S. d. Movilidad, «MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,» 2016. [En línea]. Available: <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf>.
- [20] F. J. Carphio Martínez, «UDLA,» 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/3656>.
- [21] M. D. D. M. D. QUITO, «PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/118765-opac>.
- [22] Enerlis; Ernst; Young, «LIBRO BLANCO SMART CITIES,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://www.innopro.es/pdfs/libro_blanco_smart_cities.pdf.
- [23] D. Cárdenas y F. Camargo, «Las smart cities, la comunicación y el diseño: un reto de la sociedad del conocimiento.,» *Virtu@lMente*, pp. 42-55, 2016.
- [24] ANT, «Plan Nacional de Seguridad Vial,» Agencia Nacional de Tránsito, 2013.
- [25] J. S. Vizcarra, 2010. [En línea]. Available: <https://www.puce.edu.ec/documentos/opsa/Movilidad.pdf>.
- [26] L. Hora, «La Hora,» 01 05 2010. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1028329/pico-y-placa-guc3ada--para-los-carros-que--vienen-a-la-ciudad>.
- [27] A. M. d. Transito, 2018. [En línea]. Available: <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>.
- [28] EPMTTP, 15 03 2017. [En línea]. Available: <http://www.trolebus.gob.ec/index.php/sobre-nosotros/historia-institucional>.
- [29] M. B. Merizalde, 30 11 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito-primer-bus-electrico-transporte.html>.
- [30] Quitoinforma, 01 12 2017. [En línea]. Available: <http://www.quitoinforma.gob.ec/2017/12/01/el-primer-bus-articulado-electrico-ya-circula-en-quito/>.
- [31] A. Almeida, 01 12 2017. [En línea]. Available: <http://www.extra.ec/actualidad/bus-electrico-quito-transporte-publico-BG1877892>.
- [32] BiciQuito, 2017. [En línea]. Available: <http://www.biciquito.gob.ec/index.php/info/que-es.html>.
- [33] G. M. d. Rumiñahui, 19 01 2017. [En línea]. Available: http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=374:&-catid=8&Itemid=113&lang=kw.
- [34] Distrito Metropolitano de Quito, «Plan maestro de movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito: 2009-2025,» Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2009.
- [35] RCP Consultores Asociados, «Consultoría a fin de desarrollar los estudios para la armonización del sistema de revisión técnica vehicular obligatoria del Distrito Metropolitano de Quito a la nueva Legislación Nacional y a los requerimientos técnicos actuales,» Agencia Metropolitana de Control de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2017.
- [36] T. Khokhar, «Tres grandes ideas para lograr ciudades y comunidades sostenibles,» 31 Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/01/31/3-big-ideas-to-achieve-sustainable-cities-and-communities>.
- [37] M. Bouskela, M. Casseb, S. Bassi, C. De Luca y M. Facchina, «La ruta hacia las Smart Cities, Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente,» 2016. [En línea]. Available: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>.

- [38] proov, «Smartphones to Smart Cities: How technology is impacting our lives,» 2017. [En línea]. Available: <http://proov.io/2016/08/17/smartphones-to-smart-cities-how-technology-is-impacting-our-lives/?preview=true>.
- [39] S. C. ATLAS, «SMART CITIES ATLAS,» 02 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.smartcitiesatlas.com/transporte-y-movilidad-en-una-ciudad-inteligente/>.
- [40] M. Vicoso, «El independiente,» 29 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.elindependiente.com/economia/2017/04/29/el-reto-del-siglo-xxi-es-mejorar-la-calidad-de-vida-en-las-ciudades/>.
- [41] Metro Ecuador, «metroecuador.com,» 03 06 2017. [En línea]. Available: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2017/07/03/municipio-quito-recogera-datos-planificar-movilidad-smart-city.html>.
- [42] Alcalde Metropolitano, «Quito será la primera Smart City de Latinoamérica,» 30 Junio 2017. [En línea]. Available: http://prensa.quito.gob.ec/index.php?-module=Noticias&func=news_user_view&id=26710&umt=Quito%20ser%E1%20la%20primera%20Smart%20City%20de%20Latinoam%E9rica.
- [43] EL Comercio, «Movilidad sostenible para una ciudad moderna,» *Tendencias*, p. 2, 10 Diciembre 2017.
- [44] A. Metropolitana, «quito.gob.ec,» 30 06 2017. [En línea]. Available: http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=26710&umt=Quito%20ser%E1%20la%20primera%20Smart%20City%20de%20Latinoam%E9rica.
- [45] M. A. González, «Criterios de diseño industrial para una propuesta conceptual en el desarrollo de vehículos de los SITP de,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2015.
- [46] National Geographic, «Medio Ambiente,» 8 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/07/grandes-proyectos-de-transporte-sostenible-para-luchar-contra-los-atascos-en>.

Volante de inercia: sistemas y materiales aplicados en medios de transporte de pasajeros

FESS Technology: Systems and Materials Applied in Passenger Transport

Remache A.

Instituto Superior Tecnológico Kachariy. Quito, Ecuador
e-mail: abel.remache@itk.edu.ec

Información del artículo
Recibido: febrero 2020
Aceptado: mayo 2020

RESUMEN

Se ha realizado un estudio del uso de la energía cinética a través de la tecnología de los volantes de inercia FESS. Se detalla el principio de funcionamiento, su estructura interna, configuraciones y diversas consideraciones técnicas que fueron necesarias para su implementación en varias aplicaciones en la actualidad. Se identifican los usos en medios de transporte de sistemas KERS, el uso de tecnología de levitación a través de los HTS, aplicaciones híbridas y sistemas Gimbal entre otros. Se define el uso de materiales ya que es primordial para su capacidad energética y costo final en el desarrollo de esta tecnología. Para finalizar se analiza el potencial que tiene un volante de inercia y las limitaciones a las que se enfrenta en el ámbito de construcción, costos, materiales y densidad energética. Se concluye que los volantes se han integrado a aplicaciones sencillas y avanzadas, con ventajas tales como un costo ambiental bajo, larga vida útil, bajo mantenimiento y poca fricción, reducción de emisiones, entre otras. Entre las desventajas están la baja densidad de energía, costos, uso de materiales poco accesibles, peso, entre otros; por ende, la investigación actual trabaja en estos campos.

Palabras clave: *energía cinética, volantes de inercia FESS, transporte, materiales*

ABSTRACT

A study of the use of kinetic energy through the technology of FESS inertia wheels has been carried out. It details the operation principle, its internal structure, configurations and various technical considerations that were necessary for its implementation in several applications at present. It identifies the uses in means of transport of KERS systems, the use of levitation technology through the HTS, hybrid applications and Gimbal systems among others. The use of materials is defined as it is essential for their energy capacity and final cost in the development of this technology. Finally, the potential of a flywheel and the limitations it faces in the field of construction, costs, materials and energy density are analyzed. It is concluded that the flyers have been integrated into simple and advanced applications, with advantages such as a low environmental cost, long service life, low maintenance and low friction, reduction of emissions, among others. Among the disadvantages are the low energy density, costs, use of materials that are not very accessible, weight, among others; therefore, current research works in these fields.

Keywords: *kinetic energy, FESS technology, transportation, materials*

1. Introducción

Según Schutlz (2014), las áreas de importancia en el uso vigente del volante inercial está relacionado con: Industria automotriz, Fuentes de alimentación ininterrumpibles, Militar / Defensa, Almacenamiento de energía de red, Aerogeneradores [1].

Diversas aplicaciones en volantes de inercia han generado buenos resultados como por ejemplo volantes de inercia con una capacidad de energía específica del rotor de 195 Wh / kg, comparable con las baterías de iones de litio. [2].

Otras aplicaciones van desde la gestión de energía conectada a la red hasta el lanzamiento de aeronaves electromagnéticas. Las configuraciones de rotor predominantes están estructuradas mediante discos, cilindros sólidos y cilindros de pared gruesa fabricados en carbono y compuesto de vidrio o acero de alta resistencia [3].

Este estudio se concentra en aplicaciones relacionadas a los medios de transporte, en las que los volantes son utilizados en el almacenamiento y ahorro significativo de energía en sistemas automotrices. Mencionando un ejemplo, vehículos de transporte de pasajeros como automóviles y trenes tienen este sistema y varios son capaces de ahorrar hasta un 15% de combustible en conducción por ciudad [4], siendo accionado en frenadas y paradas, en varios casos dependiendo de su sistema el motor de combustión se detiene y, así, se ahorra el consumo innecesario del combustible que produce gases contaminantes y cuyo costo es elevado en la actualidad.

2. Desarrollo

2.1. Funcionamiento y generalidades

Un volante de Inercia es un dispositivo mecánico giratorio utilizado para almacenar energía cinética rotatoria. Los volantes tienen un momento significativo de inercia y por ende resisten variaciones en la velocidad de rotación. La cantidad de energía almacenada en un volante es proporcional al cuadrado de su velocidad de rotación (Ver ecuación 1). La energía se transfiere a un volante a través de la aplicación de par externo, incrementando así su velocidad de rotación, y por lo tanto su energía almacenada. Un volante libera su energía almace-

nada aplicando un par a una carga mecánica, de esta forma se reduce su rotación. [5]

En la actualidad y generalmente, el volante de inercia está dentro de un contenedor al vacío para eliminar la pérdida de fricción causada por el aire y suspendido por cojinetes para una operación estable. La energía cinética se transfiere dentro y fuera del volante pudiendo funcionar como motor o como generador dependiendo del ángulo de carga. Al actuar como motor, la energía eléctrica suministrada se convierte en par y se aplica al rotor; en el modo generador, la energía cinética almacenada en el rotor aplica un par, que se convierte en energía eléctrica. Aparte del volante se requiere una electrónica de potencia adicional para controlar la entrada y salida de potencia, la velocidad, la frecuencia, entre otras [6].



Figura 1. Estructura del volante de inercia [7].

Formulaciones básicas. - Como se ha mencionado, la energía cinética almacenada en un volante es proporcional a la masa y al cuadrado de su velocidad de rotación acorde con la Ecuación(1).

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (1)$$

Donde: E_k = Energía cinética almacenada en el volante (Kinetic energy),

I = Momento de inercia,

ω = Velocidad angular del volante,

Para los rotores de acero (volantes), la forma dominante es un cilindro sólido, por lo que se da la siguiente expresión para I :

$$I = \frac{1}{2} r^2 m = \frac{1}{2} r^4 \pi a \rho \quad (2)$$

Donde: r = radio,

a = longitud del cilindro,

m = masa del cilindro,

ρ = densidad del material del cilindro,

Cuando la forma supone un cilindro circular hueco, conduce a la ecuación 3

$$I = \frac{1}{4} m(r_0^2 - r_i^2) = \frac{1}{2} \pi a \rho (r_0^4 - r_i^4) \quad (3)$$

Donde: r_0 = radio externo,

r_i = radio interno

Así la manera más eficiente de aumentar la energía almacenada es acelerar el volante. El límite de velocidad se logra a través de cargas inerciales o resistencia a la tracción. Los materiales más ligeros desarrollan cargas de inercia más bajas a una velocidad dada, por lo tanto los materiales compuestos, con baja densidad y alta resistencia a la tracción, son excelentes para almacenar energía cinética [8]. De esta manera la energía cinética por unidad de volumen y masa se define por [9]:

$$e_v = K\sigma \quad (4)$$

$$e_m = K\sigma/\rho \quad (5)$$

Donde:

e_v = energía cinética por unidad de volumen,

e_m = energía cinética por unidad de masa,

K = es el factor de forma,

σ = tensión máxima en el volante.

Las tensiones en un volante de inercia influirán en las tres dimensiones. Para un rotor construido con un material no isotrópico, como compuestos con fibra, la interacción de esfuerzos limitará las dimensiones prácticas posibles. En diseños cortos (generalmente volantes de inercia huecos), las tensiones de interés primario son la tensión radial σ_r (Ecuación 6) y la tensión del aro σ_θ (Ecuación 7) [8]. Para un material isotrópico, la tensión radial y de aro se expresan mediante las ecuaciones:

$$\sigma_r = \frac{3+v}{8} \rho \omega^2 \left(r_0^2 + r_i^2 - \frac{r_0^2 r_i^2}{r^2} - r^2 \right) \quad (6)$$

Donde:

v = coeficiente de Poisson,

r = cualquier radio dentro del rotor.

$$\sigma_\theta = \frac{3+v}{8} \rho \omega^2 \left(r_0^2 + r_i^2 + \frac{r_0^2 r_i^2}{r^2} - \frac{1+3v}{3+v} r^2 \right) \quad (7)$$

Varios datos de materiales para volantes de inercia son posibles encontrar en tablas como información abierta, así como los factores de forma K

2.2. Transporte liviano

2.2.1. Sistema KERS

El sistema KERS (Kinetic Energy Recovery System), implementado en vehículos de turismo, se basa en los principios de funcionamiento del volante de inercia, puede actuar como dinamo-alternador en fases de frenada, y como motor eléctrico de corriente continua en fases de aceleración. Pero a diferencia de la versión mecánica, el KERS eléctrico puede tener o no baterías químicas para almacenar energía (Figura 2). Flybrid (empresa desarrolladora KERS) junto a Magneti Marelli desarrolló un dispositivo híbrido entre el eléctrico y el mecánico de 27kg; esta versión del KERS almacena en una cámara de vacío, un volante de inercia que gira libre de rozamientos gracias a la energía cinética recuperada en las frenadas, que puede producir el giro de un rotor de reluctancia variable sobre un estator, generando corriente alterna que rectificadada a continua (ac-dc), alimenta a un motor eléctrico [10].

El KERS ha desarrollado un sistema de vacío, generando un estado de giro en extremo duradero, debido a la inercia generada, que solo se pierde en fases de aceleración cuando la energía cinética se aplica a la tracción del vehículo. El sistema KERS mecánico no transforma la energía cinética en eléctrica, solo utiliza su movimiento para ayuda de tracción, y por tanto no necesita ningún tipo de motor eléctrico o batería [10].

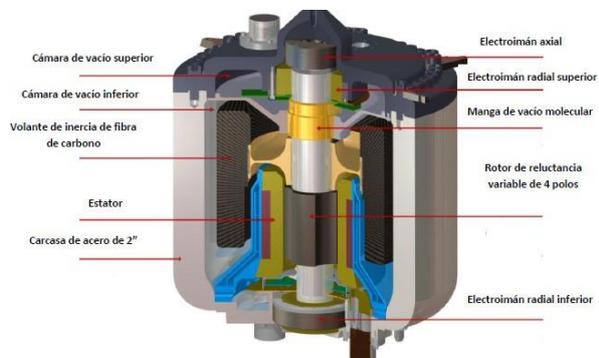


Figura 2. Volante de inercia KERS [10]

Los sistemas de recuperación de energía cinética no obtuvieron los resultados esperados en la Fórmula 1, pero varias compañías automotrices insertan e investigan esta tecnología en automóviles de turismo. Varias aplicaciones se han dado en los últimos años combinando esta tecnología con la transmisión CVT (Continuously Variable Transmission), para mejorar los resultados en automóviles de cambios automáticos.

Tipos de Sistemas KERS

KERS Mecánico: El KERS mecánico utiliza un volante como el dispositivo de almacenamiento de energía y una transmisión variable para controlar y transferir la energía hacia y desde la línea de transmisión.

KERS eléctrico: El sistema de recuperación de energía cinética eléctrica convierte la energía cinética en energía química para el almacenamiento y se utiliza un sistema generador de motor eléctrico como medio de transferencia y control de la energía.

KERS Hidráulico: Este sistema es particularmente adecuado para la aplicación en la ciudad. El frenado regenerativo en vehículos que utilizan una bomba/motor hidráulico de desplazamiento variable junto con un acumulador hidráulico neumático ha atraído considerable interés durante los últimos años.

KERS Hidroeléctrico: Un sistema hidráulico de sinergia eléctrica (HESS) es un acumulador hidráulico y un sistema de energía híbrida de batería. Este sistema sigue una estructura de energía híbrida para integrar una batería de alta energía específica con un acumulador hidráulico de alta potencia para obtener la salida requerida. Por lo tanto, supera los inconvenientes de una única fuente de almacenamiento de energía tipo KERS [11] [12].

2.2.2. Bicicletas

Un volante de inercia almacena transitoriamente la energía cinética cuando el ciclista frena o ralentiza el movimiento de la bicicleta. Esta energía almacenada en el volante se puede reutilizar o recuperar. Considerando que esta energía habitualmente es perdida durante el proceso de frenado la misma puede ayudar a la reconexión de la velocidad y ac-

cionamiento mecánico. De esta manera, se puede aumentar la eficiencia energética, e incrementar la velocidad rápidamente (Figura 3) [13].



Unveiled at the United Nations Climate Conference, it can transform a bicycle into a hybrid electric bike that can generate its own power as well as sense the environment.

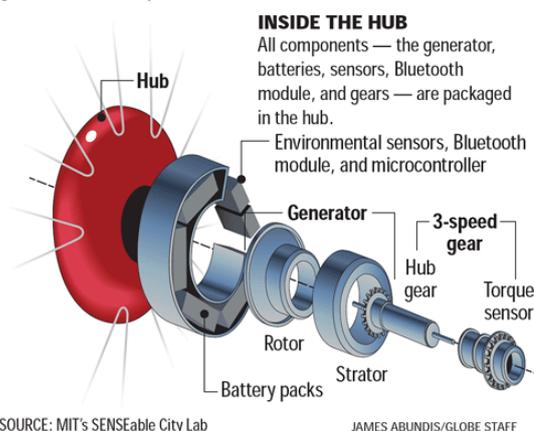


Figura 3. Sistema KERS – Copenhagen Wheel [13], [14]

La figura (3) muestra la estructura interna utilizada en sistemas KERS para bicicletas. El proyecto desarrollado por el MIT fue denominado Copenhagen Wheel, puesto que solo se adapta el neumático posterior a cualquier bicicleta y actualmente está siendo introducido en esa ciudad. Varios sensores y módulos ayudan a controlar y almacenar datos de recorrido que facilitan la conexión a aplicaciones móviles.

2.3. Transporte pesado

2.3.1. Autobuses

Los primeros autobuses fueron los giro-buses (Gyrobuses), desarrollados durante la década de 1940. Bajo el principio de un volante de inercia de acero. El volante pesaba 1500 kg y tenía un diámetro de 1,6 m. Cada cinco kilómetros, el vehículo se detenía por unos minutos, conectaba su toma a la red y recargaba su impulsor, que accionaba un generador eléctrico. Este impulsor generaba movimiento, con baja resonancia a 3.000 rpm [15].

El alto consumo de energía, una gran necesidad de mantenimiento y reparación y el uso de la carretera debido a la pesadez de los autobuses derivó en la salida de utilización de este tipo de autobuses. Cuando un autobús está desempeñándose en áreas urbanas, genera un gran número de arranques y paradas, haciendo que el volante inercial sea una opción adecuada para el sistema de control de potencia. Los nuevos sistemas Flybrid (Empresa dedicada al desarrollo de volantes para vehículos y buses) reportan un ahorro de combustible del 45% para un autobús de 17 toneladas métricas en el ciclo de conducción del autobús de Londres [5]. La optimización de los sistemas KERS hacen posible su aplicación en autobuses (Figura 4), adaptado al sistema de transmisión.



Figura 4. Flybrid para Autobuses[16]

Las características clave del prototipo Flybus, son un volante Ricardo Kinergy como medio de almacenamiento de energía y una transmisión variable continua (CVT) Torotrak que transfiere energía al volante. El volante de inercia Ricardo Kinergy utiliza acoplamiento magnético de bajo costo. El resultado es un sistema híbrido de bajo consumo de combustible y bajas emisiones de carbono.

2.3.2. Tren de transporte pesado

Cuando un tren eléctrico frena, la energía es a menudo desperdiciada como calor debido a la falta de un sistema de almacenamiento de energía. Con tal sistema instalado, la energía del freno de un tren se puede utilizar como energía de la aceleración para otro tren.

La Universidad de Texas de Austin probó un volante destinado a la recuperación de energía del freno de tren, que fue diseñado para almacenar 130 kWh a 15.000 rpm, y probado hasta 13.600 rpm. El rotor estaba hecho de compuestos de fibra de carbono, y fue suspendido por cojinetes magnéticos activos axial y radialmente con un rotor girado en vacío. Se colocó una máquina eléctrica de 2 MW fuera del vacío (Hedlung, Lundin, De Santiago, & Abrahamson, 2015). Ricardo (Fabricante de Volantes de Inercia) y Artemis (Sistemas CVT) han diseñado un sistema integrado para trenes eléctricos, que proporciona un incremento del rendimiento en redes ferroviarias eléctricas EMU (Electric Multiple Unit) (Figura 5). Esta configuración puede usar la energía acumulada del volante de inercia (Por medio de un interruptor controlado) o a su vez puede utilizar la red eléctrica para conectarlo al Motor-Generador según convenga para su movimiento. Además, se puede activar y cargar eléctricamente el volante de inercia como muestra la figura.

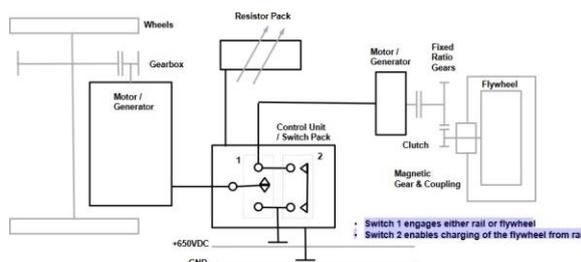


Figura 5. Sistema EMU conectado al volante de inercia [17]

2.3.3. Ferrocarril ligero

La aplicación de la tecnología de volante a la LRT (Light Rail Train) almacena la energía generada durante las paradas de pasajeros frecuentes del tren (Similar a trenes de carga pesada). Los volantes de inercia son capaces de recargar y descargar mucha energía muy rápidamente, por lo que son idóneas para este propósito, las baterías convencionales no duran mucho bajo esas condiciones. Estos sistemas generan ahorros potenciales atractivos para el presupuesto de transporte público de una ciudad. Para el sistema LRT de Edmonton, se ha calculado un ahorro de energía del 31% y un ahorro de costos del 11% [5].

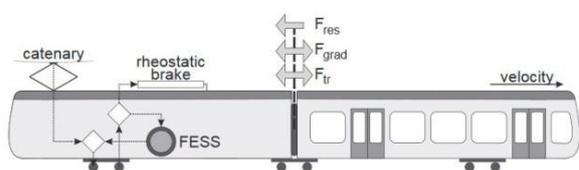


Figura 6. Light Rail Train [18].

2.3.4. Locomotoras ALPS

El programa ALPS forma parte del Programa de Alta Velocidad de Nueva Generación, patrocinado por la Federal Railroad Administration. El objetivo del programa ALPS es desarrollar un sistema de propulsión de locomotora de combustibles fósiles capaz de mantener velocidades de 150 mph en la infraestructura existente. El peso de las locomotoras diésel eléctricas convencionales puede crear fuerzas dinámicas que dañan la pista. El motor principal del sistema ALPS es una turbina de gas ligera de alta velocidad que reduce el peso de las locomotoras y las fuerzas dinámicas de la vía a velocidades más altas.

La potencia de propulsión principal es proporcionada por una turbina de gas de 4.000 hp que acciona un alternador síncrono con una potencia nominal de 2 MW con una potencia máxima de 3 MW. La salida del alternador se rectifica para proporcionar energía a un bus de línea, que distribuye la energía a través de la locomotora (Figura 7).

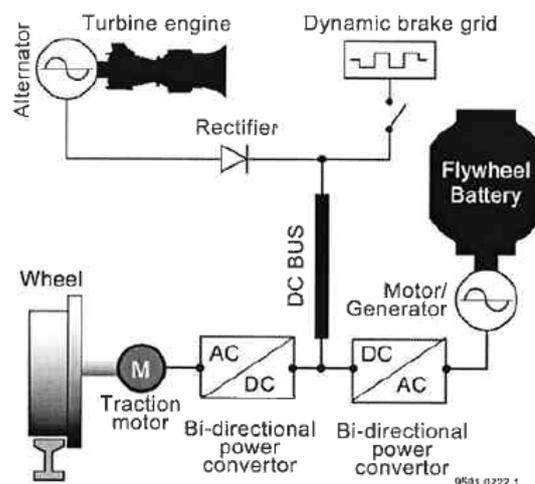


Figura 7. Sistema EMU conectado al volante de inercia [19]

Los motores de tracción AC de la locomotora son accionados a través de variadores de frecuencia conectados al bus DC. El motor/generador del volante también está conectado al bus de salida a través de un convertidor bidireccional de potencia de frecuencia variable. El rotor es levitado en rodamientos magnéticos para minimizar las pérdidas por rotación y permitir el funcionamiento a largo plazo en un ambiente de vacío. Tanto los cojinetes magnéticos radiales como los axiales son de tipo imán permanente con bobinas de control activas montadas en el estator. Esta configuración proporciona un control estable del rotor en un entorno dinámico de locomotora. El volante funciona en un vacío de 0,0131579 atmósferas para minimizar las pérdidas de viento. El rotor del motor está acoplado a un motor/generador de inducción que funciona a presión atmosférica.

El motor/generador de inducción es una máquina de inducción de barra de cobre con una potencia nominal de 2 MW en la gama de velocidades de 7.500 a 15.000 rpm. Se conecta a través de un inversor al bus de la locomotora y puede operar en las regiones de motor o de generación, dependiendo de si se ordena acelerar el volante o entregar energía al autobús. El control funciona en un modo V/Hz constante (par constante) en el rango de velocidad de 7.500 a 12.000 rpm y en un modo de tensión constante (potencia constante) de 12.000 a 15.000 rpm.

2.4. Autobús Metro Transit de Houston

El sistema de autobús de tránsito comparte una filosofía común con la locomotora en que el volante sirve como dispositivo de nivelación de carga. La energía de frenado se utiliza para acelerar el volante y la energía almacenada en el volante se utiliza para complementar la central eléctrica principal para lograr la aceleración o para mantener la velocidad.

El motor/generador es una máquina sincrónica con imanes permanentes montados en el rotor. Los devanados del estator, que están a presión atmosférica, son refrigerados por líquido. El rotor está en vacío, sin embargo, y el calor generado por las corrientes parásitas en cualquier parte del rotor debe ser eliminado por radiación. Se ha dedicado un importante esfuerzo de desarrollo a reducir las pérdidas del rotor, de modo que las pérdidas se puedan disipar sin elevación de temperatura excesiva en el rotor. En la Figura 8 se muestra una imagen de la unidad instalada en el bus [19].

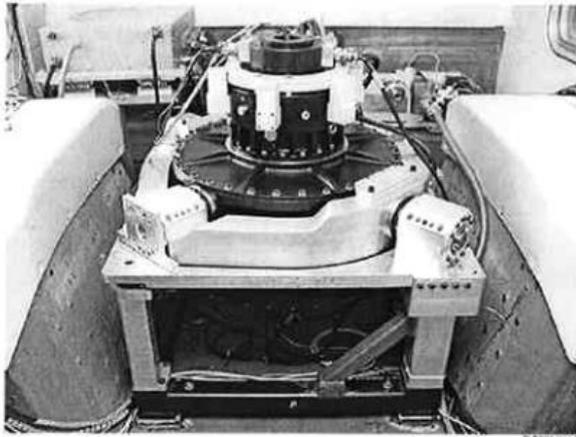


Figura 8. Sistema EMU conectado al volante de inercia [19]

2.4.1. Sistema DDPM

Esta tecnología emplea un volante inercial de bobina con un diseño capaz de generar alta velocidad junto con altas cargas de choque (masa de hilado de 21Kg, > 45.000 rpm). El par se transfiere al volante en una cámara de vacío mediante una forma de acoplamiento magnético a través de la pared de la cámara, sin comprometer la integridad del vacío. La adaptación de velocidad se logra mediante una bomba/motor hidráulico (Pump-Motor) de

desplazamiento digital (Digital Displacement) de alta eficiencia (DDPM), en la que los cilindros individuales están controlados por válvulas de solenoide intervenidas digitalmente.

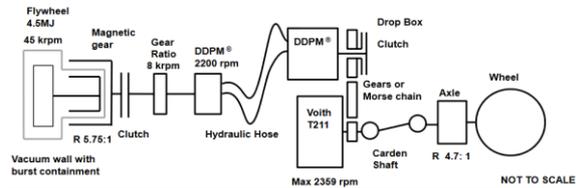


Figura 9. Sistema EMU conectado al volante de inercia [17]

Una aplicación se puede dar conectando a una línea de transmisión DMU (Diesel Multiple Unit). El uso de una conexión hidráulica al módulo de volante permite que este elemento sea montado elásticamente al cuerpo y evite así los altos niveles de vibración asociados con los ejes. Además, la instalación se facilita mediante mangueras flexibles en lugar de ejes o accesorios, lo que permite a los diseñadores utilizar el espacio existente con una interrupción minimizada del equipo existente. Este sistema es válido y adaptable a sistemas EMU [20]. Los dispositivos DDPM se han aplicado con acumuladores hidráulicos como medio de almacenamiento de energía en vehículos híbridos paralelos para autobuses urbanos, para los que se han previsto ahorros superiores al 30%. La baja densidad de energía de los acumuladores hidráulicos, en comparación con las baterías químicas o cinéticas, las hace inadecuadas para la aplicación en trenes (EMU), por lo tanto, se considera la integración de los volantes de inercia.

2.5. Tranvías de volante

Existen dos tipos de tranvías de volante: híbrido y cero-emisiones. Los tranvías del volante híbrido se basan en la energía cinética almacenada en sus volantes para accionar los trenes durante la aceleración y luego recargar los volantes cuando frenan. Los tranvías de volante de emisiones de cero emisiones dependen únicamente de la energía cinética almacenada en sus volantes que se recarga en estaciones y puntos de parada. Estos puntos de parada deben ser relativamente pequeños (inferiores a 0,5

millas en algunos casos) para que esta tecnología sea viable como un sistema autónomo.

Los sistemas de volante externo también se pueden utilizar en los ferrocarriles electrificados para ayudar a regular el voltaje de la línea a través de la reducción de las demandas de potencia durante la aceleración [21].

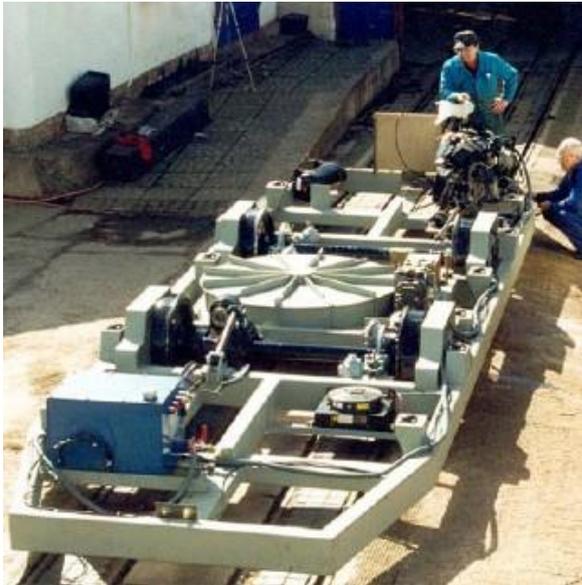


Figura 10. Tranvía de volante [21].

2.5.1. Tecnología de Levitación

En 2005, se inició una investigación a gran escala sobre la aplicación de la tecnología ferroviaria de levitación aplicada a ferrocarriles convencionales. Los imanes superconductores se pueden utilizar para levitar, propulsar y guiar objetos pesados (tales como vehículos ferroviarios), permitiéndoles así viajar sin contacto y a alta velocidad. El uso de

estos principios condujo a la idea de que el rotor de inercia sea un sistema de almacenamiento de energía de volante, una solución eficaz para la regeneración energética, utilizando bobinas superconductoras en el cojinete del sistema. El sistema Maglev utiliza bobinas superconductoras de alta temperatura REBCO, que generan campos magnéticos de gran alcance, en vez de los imanes permanentes. Con este diseño, la densidad de la fuerza electromagnética aumenta con el cuadrado de la densidad de flujo magnético, lo que permite asegurar suficiente densidad de fuerza electromagnética con menos piezas de material superconductor.

Shared principles: Strong magnetic force generated by superconducting coils levitates heavy objects (railway cars/rotors) and makes them travel/run at high speed.

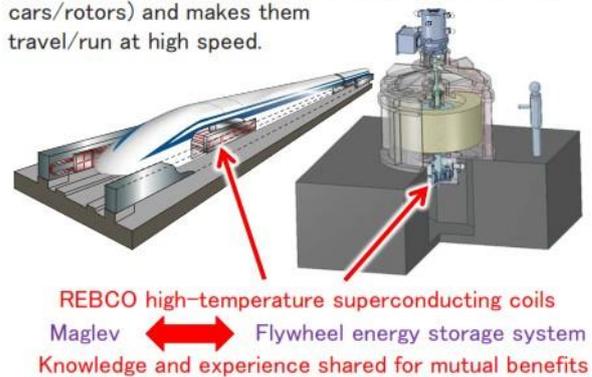


Figura 11. Sistema de Levitación Maglev [22].

Principios utilizados en este sistema: Intensa fuerza magnética generada por las bobinas superconductoras levita objetos pesados (vagones/rotores) y los hace viajar y transportarse a alta velocidad [22].

En el tema del volante de inercia, tanto el estator como el rotor del cojinete magnético superconductor deben enfriarse ya que ambos están hechos de material superconductor, por lo que se han hecho esfuerzos investigativos y tecnológicos para mejorar esta tecnología por parte de RTRI. Los mejores resultados se han dado cuando las bobinas superconductoras del estator son refrigeradas por conducción con un refrigerador mientras que las piezas de material a granel superconductoras levitadas son enfriadas por medio de conducción de gas molecular a través de las bobinas (Figura 12). En las últimas investigaciones se utilizaron bobinas superconductoras de alta temperatura de bismuto en lugar de bobinas superconductoras de alta temperatura REBCO. La investigación demostró que es eficaz el enfriamiento con gas de helio

delgado, así como levitar con éxito y girar el rotor sin contacto. La prueba de carga y velocidad a escala completa de un cojinete magnético superconductor, utilizando bobinas de alambre superconductoras de bismuto a alta temperatura, confirmó una serie de asuntos que se estaban estudiando, incluyendo el tema de si el cojinete era capaz de soportar una carga máxima de 60 kN [22].

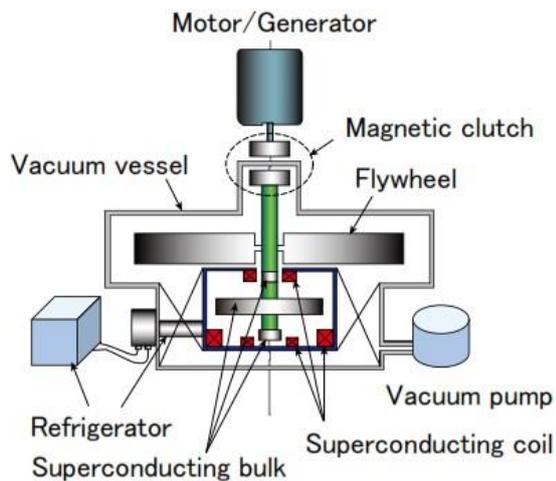


Figura 12. Configuración para Sistema Maglev [22]

Respecto a la tecnología utilizada en varios países (Japón y Alemania), la tecnología Maglev puede tener un mecanismo físico muy diferente, incluyendo la suspensión electromagnética (EMS) y la suspensión electrodinámica (EDS). Mientras que la técnica de EMS (Transrapid alemán) se rige por fuerzas atractivas entre los electroimanes y el carril de acero EDS (Yamanashi japonés Maglev) dependen de fuerzas repulsivas.

En general, la tecnología de volante del maglev se ha utilizado en autos de turismo, trenes, y aviación. En vehículos eléctricos, las baterías de almacenamiento del volante del maglev son capaces de acelerar el vehículo en una sola impulsión como una sola energía, y utilizar las baterías del coche eléctrico como energía auxiliar. Cuando se adapta la energía auxiliar, el volante del Maglev estabiliza la salida de energía de las baterías eléctricas y mejora su ciclo de vida. Además, el Maglev mejora la eficiencia de recuperación de energía de frenado regenerativo. Cuando el vehículo eléctrico esta cuesta abajo, deslice o frene, la batería del volante del maglev puede almacenar muy rápidamente la energía mecánica y mejorar la energía de frenado regenerativa [23].

2.6. Sistema Gimbal para bus

El objetivo de este sistema es incrementar el potencial de almacenamiento de energía del sistema de volante, reducir los efectos inerciales de los distintos y maximizar el uso de tecnologías de bajo costo. La reducción inercial de los volantes disminuye la carga que experimentan los rodamientos debido a los efectos giroscópicos generados por el desplazamiento del autobús. Normalmente se utilizan cardán para ayudar a manejar estas cargas, pero los cardán aumentan el volumen y el peso del sistema [24].

El diseño del cardán para esta aplicación del volante utiliza dos pares de puntos de pivote para aislar el cardán de los movimientos del bus y mantener el eje de rotación vertical (Figura 13). El cardán permite un giro de 15° del volante en cualquier dirección para acomodar los movimientos del vehículo. El centro de gravedad del volante está desplazado por debajo de los ejes cardán para inducir una fuerza natural del muelle del péndulo que actúa para mantener el volante vertical.

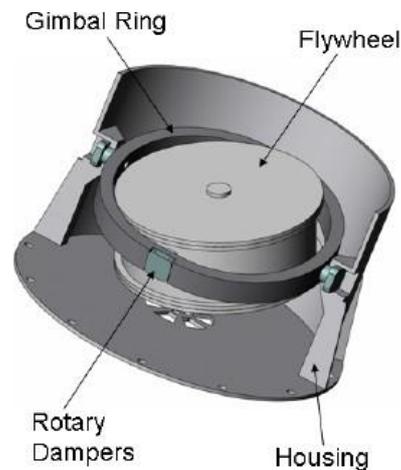


Figura 13. Diseño de sistema Gimbal [24].

El amortiguamiento para el cardán es proporcionado por un conjunto de amortiguadores giratorios en cada eje. El rotor se basa principalmente en el acero para la estructura del volante y se hace hincapié en la reducción de tamaño para las ventajas de envasado del vehículo. Si se compara con los ultracapacitores, estos son capaces de proporcionar algunas de las mismas ventajas que un sistema de almacenamiento de energía del volante. Los ultracapacitores y volantes de inercia en comparación con las baterías químicas, estos tienen mayor densidad de potencia. Con respecto a la capacidad

de almacenamiento de energía y las densidades de potencia, los ultracapacitores y los volantes son comparables. El único beneficio de los volantes es que no hay degradación del rendimiento a lo largo de la vida útil del volante.

Luego de diez años de vida operativa, los ultracapacitores pueden perder una capacidad del 20% al 30% operando a temperatura ambiente. Los límites de tiempo de vida en el sistema de volante se deben principalmente a los cojinetes del

elemento rodante para una vida útil de 10 años. Después de 10 años de servicio los cojinetes pueden ser reemplazados para extender la vida de los volantes. Los auxiliares del sistema incluyen inversores y controladores para los generadores de motores, circuito de refrigeración de líquidos y una bomba de vacío. Cada volante con cardán y contención tiene una masa de 390 kg. La masa total del sistema sería de 860 kg con un volumen de 1 m³ [24].

Tabla 1. Resumen de sistemas

Sistema	Tipo	Condición	Rpm	Kwh
<i>Sistema KERS Auto-móviles</i>	Sistemas: Mecánico, eléctrico, hidráulico, hidroeléctrico	Se combina con sistemas híbridos, CVT, o Supercondensadores	60000	0.12
<i>Sistema KERS Bicicletas</i>	Sistema mecánico	Sensores inteligentes de torque	-	-
<i>Sistema KERS Autobuses</i>	Sistema KERS optimizado	Híbrido con Transmisión CVT	60000	0.11
Tren de transporte pesado	Sistema de Línea Eléctrica	Transmisión CVT Doble Motor generador eléctrico	15000	130
<i>Ferrocarril Ligero</i>	Sistemas: de Línea eléctrica; Sistema mecánico	Con volante de inercia Incorporado	6500	1.2
<i>Locomotoras ALPS</i>	Propulsión: combustible fósil	Incluye: Turbina de gas, Motor generador, Freno dinámico	15000	133
<i>Autobús Metro Transit de Houston</i>	Sistema Motor/generador Inducción	El Frenado acelera el volante	40000	2
<i>Sistema DDPM</i>	Sistema Hidráulico digital	Uso de acumuladores hidráulicos para generar movimiento	>45000	-
<i>Tranvías de Volante</i>	Sistemas: híbrido; Sistemas Cero emisiones (no híbrido)	Volante de inercia incorporado en el tranvía	2600	-
<i>Sistema Levitativo Maglev</i>	Uso de superconductores HTS	Sistema de refrigeración avanzado. (Criogénico)	11000	5
<i>Sistema Gimbal para bus</i>	Reductor de efectos inerciales	Giro de cardan para incrementar la vida de los cojinetes.	18000	1.87

3. Materiales

En la actualidad existen materiales comunes para volantes de inercia, y dependerá de su aplicación y diseño para ser utilizado. Los materiales isotrópicos (Por lo general metales) no requieren de mucha atención en la orientación del material. Los materiales compuestos en cambio requieren de buena orientación particularmente los materiales fibrosos. Cuando las fibras unidireccionales están orientadas circularmente se consigue una gran resistencia a las tensiones tangenciales. A esta orientación, en dirección tangencial, se la denomina fibras a 0 grados y se toma como referencia porque es la dirección natural. Como caso especial, el rotor puede formarse por fibras en la dirección axial y se denominan fibras a 90 grados. [9]

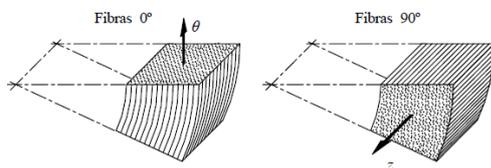


Figura 14. Orientación de las fibras: 0 grados tangencial y 90 grados axial [9].

Si las fibras están orientadas a 0 grados pueden soportar la fuerza centrífuga del rotor a través de la componente tangencial de la tensión. Las fibras a 90 grados no resisten tensiones tangenciales, ni radiales, porque ambas direcciones son normales a esta dirección, sólo resisten tensiones axiales, que aparecen en algunos rotores de gran longitud.

Los rotores compuestos reforzados con fibras orientadas circunferencialmente, probablemente generen grietas circunferenciales, pero son menos propensas a originar fragmentos de proyectiles de vuelo libre en caso de un fallo catastrófico. En general, la geometría y la velocidad del volante determinan la capacidad de almacenamiento de energía [8]. La máxima densidad energética generalmente va de la mano de una excelente resistencia a la tracción junto con una baja densidad de masa. A continuación, en la tabla 2 se puede apreciar esta relación, además que el material que mejor densidad de energía genera tiende a ser el más costoso.

Tabla 2. Datos de diferentes materiales para volantes [8]

Material	Densidad (kg.m ⁻³)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Densidad de energía máxima (Para 1 kg)	Costo €/Kg
<i>Material monolítico</i>				
Acero 4340	7700	1520	0.19 MJ/kg = 0.05 kWh/kg	1
<i>Compuestos</i>				
E-Glass	2000	100	0.05 MJ/kg = 0.014 kWh/kg	11.0
S2-Glass	1920	1470	0.76 MJ/kg = 0.21 kWh/kg	24.6
Carbono T1000	1520	1950	1.28 MJ/kg = 0.35 kWh/kg	101.8
Carbono AS4C	1510	1650	1.1 MJ/kg = 0.30 kWh/kg	31.3

Para la densidad de energía de alta masa, se utilizan materiales de alta resistencia y ligeros, mientras que, para la densidad de energía de alto volumen, se considera la alta resistencia del material. La Tabla 3 muestra las

propiedades mecánicas de algunos materiales seleccionados y su capacidad ideal de almacenamiento de energía para un volante en forma de disco.

Tabla 3. Propiedades mecánicas para diferentes materiales utilizados en volantes [5].

Material	σ (MPa)	ρ (Kg/m ³)	em (kJ/kg)	ev (kJ/m ³)
Acero (AISI 4340)	1800	7800	140	1092000
Aleación (AlMnMg)	600	2700	135	364500
Titanio (TiAl62r5)	1200	4500	162	729000
Fibra de vidrio (60%)	1600	2000	485	970000
Fibra de carbono (60%)	2400	1500	970	1455000

De esta manera y tomando en cuenta la tabla anterior, la mejor opción para diseñar un volante con alta energía y ligero será utilizando fibra de carbono. En cambio, un volante con alta energía y pequeño (en tamaño) tendrá que diseñarse en acero, aunque su peso será elevado. La fibra de carbono tiene un comportamiento muy anisotrópico, con malas propiedades en la dirección radial, por lo que debe tomarse en cuenta estos detalles al considerar los materiales. “Los rotores de acero tienen una energía específica de hasta 5 Wh / kg, mientras que los rotores compuestos de alta velocidad

han alcanzado una energía específica de hasta 100 Wh/g” [25],[5].

Otro ejemplo se da en la tabla 4 en donde se presenta las características mecánicas y económicas de los materiales típicos de acero y compuestos. Aquí, los materiales compuestos como Kevlar, R-Glass o E-Glass epoxy son los más indicados para volantes de alta potencia específica y poca masa. El maraging de acero en cambio tiene una buena relación de potencia y volumen por lo que se adapta a espacios limitados [26] [27].

Tabla 4. Propiedades mecánicas y económicas de materiales utilizados en volantes [26], [27].

Material	Densidad (kg.m ⁻³)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Costo €/Kg
36NiCrMo16	7800	880	6
Maraging 300	7800	1850	32.6
E-Glass Epóxico	1900	1350	23.5
R-Glass Epóxico	1550	1380	58.0
Kevlar Epóxico	1370	1400	72.0

La construcción de un sistema también se puede analizar desde la perspectiva de costo por kWh generado por lo que la fibra de carbono supone una solución de menor costo para almacenar can-

tidades relativamente grandes de energía. Algunos costos tienden a bajar acorde a los avances y el movimiento del mercado (Figura 15)[28].

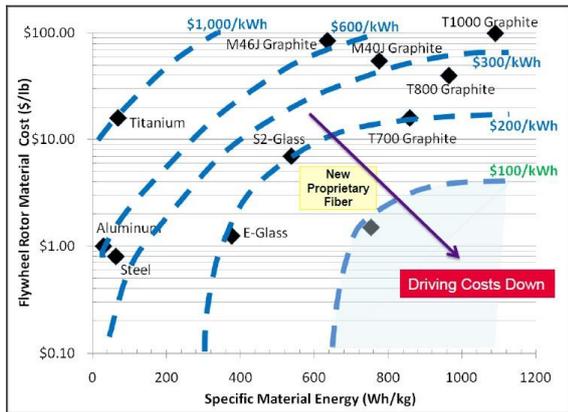


Figura 15. Costo Material de Rotor Vs Energía Específica [29]

Existen nuevos materiales que se encuentran en etapas iniciales de uso e investigación, el potencial futuro del almacenamiento de energía del volante se evalúa comparando materiales contemporáneos con algunos nuevos (Tabla 5). Los nanotubos de carbono son poco conocidos pero han recibido interés tanto de la NASA como del Departamento de Defensa de Estados Unidos [2].

Tabla 5. Potencial teórico de volantes con materiales contemporáneos y futuros [2].

Material	Tracción Final (MPa)	Densidad (kg.m ⁻³)	Densidad de Energía de Rotor (Wh/kg)
Aluminio 7075	572	2810	28
Acero inoxidable 17-7 PH	1650	7800	29
Titanio Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn ST 790 °C	1380	4760	40
E-glass (Fibra de vidrio) Advantex	1400	2146	90
Compuesto T1000G Toray	3040	1800	234
Compuesto T1000G Fibra	6370	1800	491
Nanofibras de Carbono cultivadas a vapor	2920	2000	202
Nanotubo de carbono de pared simple (Baja gama)	50000	1300	5341
Nanotubo de carbono de pared simple (Alta gama)	500000	1300	53418
Nanotubos de carbono multi pared (Baja gama)	10000	1750	793
Nanotubos de carbono multi pared (Alta gama)	60000	1750	4761

Para el núcleo ferromagnético y el devanado, los materiales de uso común son respectivamente la aleación Fe-Si y el cobre. Los ejemplos de los va-

lores de costo para estas materias primas se dan en la tabla 6. Estos valores se obtienen de los datos del fabricante.

Tabla 6. Materiales comúnmente utilizados en núcleo y devanado [26].

Símbolo	Descripción	Parte del sistema	Valor
C _{iron}	Aleación Fe-Si	PMSM núcleo	3.0 €/Kg
C _{CO}	Cobre	PMSM devanado	6.0 €/Kg
C _{mag}	Nd-Fe-B	PMSM imán	140.0 €/Kg

Nota: PMSM (Permanent Magnet Synchronous Machine)

El rotor de un sistema generalmente no supera el 20% del costo total. En consecuencia, no es válido escalar el coste del sistema del volante a razón de dólares por kilovatio-hora, sin tener en cuenta la composición del coste del sistema del volante.

Sin embargo, el coste incremental por unidad de energía almacenada es calculable para materiales de rotor. La siguiente tabla ofrece una aproximación del costo incremental del material del rotor para aplicaciones de volante de alta velocidad.

Tabla 7. Aproximación del costo incremental acorde al material del rotor [3]

Material	\$(Kw-h) ⁻¹	Masa (Kw-h) ⁻¹
Compuesto de Carbono	1200	1
Acero 1800 MPa (260000 psi)	1800	7x
Acero 1100 MPa (160000 psi)	2000	12x
Acero 600 MPa (90000 psi)	4000	24x

El motor/generador integrado suele ser de un campo giratorio integrado por electroimanes o imanes permanentes de tierras raras. Las propiedades de los imanes permanentes de alto campo producen densidades de flujo lo suficientemente altas como para permitir que las máquinas con devanados de armadura sin ranura (devanados de entrehierro), no tengan un núcleo de estator magnético. La ausencia de un material ferromagnético en el estator tiene dos impactos importantes en el rendimiento de un motor/generador: En primer lugar, la baja permeabilidad reducirá rápidamente la intensidad del campo magnético cuando se aleja del imán, la tensión inducida se reduce, disminuyendo así

la potencia generada. En segundo lugar, no habrá pérdida de calor en el núcleo del estator debido a efectos de histéresis.

La baja resistencia a la tracción de los imanes en comparación con la del compuesto del volante limita su colocación en la proximidad del cubo, así como su número de polos. La Tabla 8 muestra la resistencia a la tracción de materiales magnéticos comunes. Las ferritas debido a su baja conductividad no producen, corrientes parásitas inducidas en la superficie. Sin embargo, algunos de los materiales de tierras raras sinterizados tienen una gran conductividad y por lo tanto sufren de tales problemas [8].

Tabla 8. Propiedades de Materiales magnéticos utilizados en volantes [8]

Material	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Remanencia (T)
Neodimio-Hierro-Boro Sinterizado (Nd-Fe-B)	7400-7600	80	1.08-1.36
Samario- Cobalto Sinterizado	8000-8500	60	0.75-1.2
Ferrita Sinterizada	4800-5000	9	0.2-0.43
Inyección de material compuesto (Nd-Fe-B)	4200-5630	35-59	0.40-0.67
Compuesto Moldeado por Compresión (Nd-Fe-B)	6000	40	0.63-0.69
Inyección de material compuesto – Ferrita	2420-3840	39-78	0.07-0.30

Comparativa

Los sistemas de volante de inercia han desarrollado una tecnología fuerte y pueden competir directamente con sistemas de baterías o pilas de combustible. Los materiales utilizados en volantes de inercia son amigables con el ambiente y

tienen larga vida útil. Las aplicaciones son muy variadas y pueden manejar altas velocidades de descarga sin degradación. Las futuras innovaciones dan ventaja a los volantes de inercia respecto a la densidad de energía sobre otras tecnologías recientes (Figura 16).

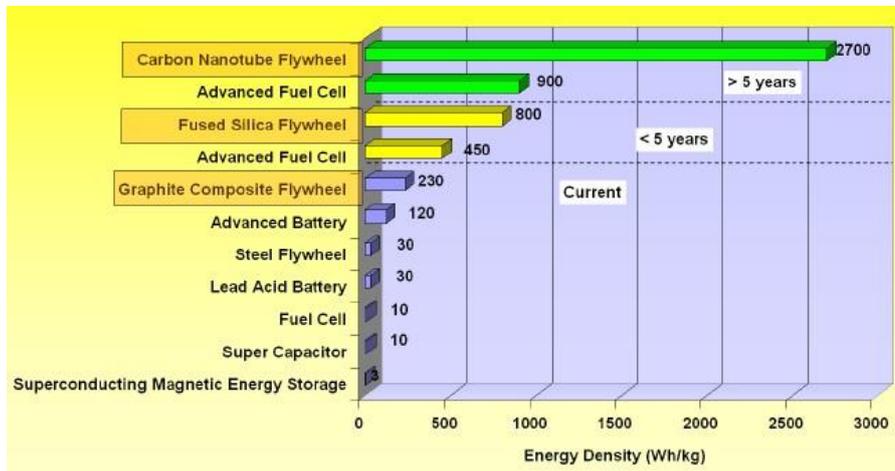


Figura 16. Nuevas aplicaciones de materiales en volantes de inercia [29].

El costo es uno de los factores decisivos en la selección de una tecnología de almacenamiento de energía sobre otra, además del cumplimiento del requerimiento específico de la aplicación. Los volantes deben competir con las baterías y los ultracapacitores sobre la base del costo, aunque el costo se debe evaluar durante la vida útil de un sistema.

en términos de potencia y tiempo de descarga. La figura 28 muestra las regiones en las que los volantes, los condensadores y las baterías son más rentables. Así como las valoraciones de los fabricantes de sistemas de volante. La región sombreada indica el espacio en donde los volantes presentan ventajas.

La competencia relativa de los costos de los ultracapacitores, baterías y volantes puede presentarse

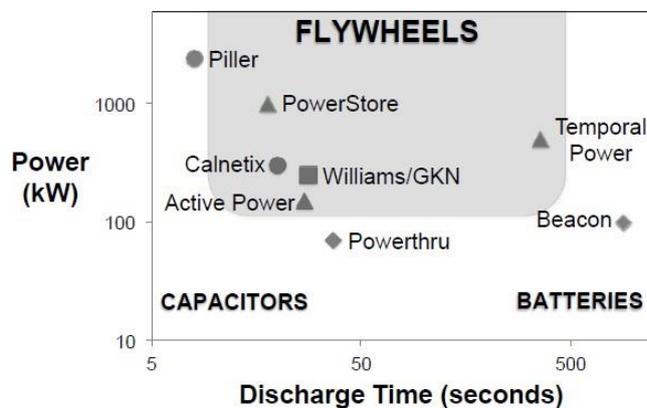


Figura 17. Comparativa entre Ultracapacitores, baterías y volantes [3].

Los volantes son convenientes para aplicaciones que requieren energía durante más de varios segundos y hasta varias o decenas de minutos, con un ciclo de vida útil alta. Para aplicaciones que requieren menos de 100 kW, los costos del sistema conducen a que los volantes sean más costosos y menos competitivos.

Comparando con diversas fuentes de energía, se puede considerar que los sistemas FESS (Flywheel

Energy Storage System) tienen una vida útil prolongada, una alta densidad de energía y un rendimiento de potencia máximo. La eficiencia energética fácilmente puede superar un 90% (Tabla 9). La baja densidad de energía viene a ser un limitante, aunque las últimas investigaciones han demostrado que puede llegar a superarse esos inconvenientes con nuevos materiales tales como nanotubo de carbono y sílice fundida.

Tabla 9. Propiedades de los sistemas de energía [30].

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA					
Tipo	Eficiencia Energética (%)	Densidad de Energía (Wh/Kg)	Densidad de Potencia (W/Kg)	Ciclo de vida (Ciclos)	Auto Descarga
Pb-Ácido	70-80	20-35	25	200-2000	Baja
Ni-Cd	60-90	40-60	140-180	500-2000	Baja
Ni-MH	50-80	60-80	220	<3000	Alta
Li-Ion	70-85	100-200	360	500-2000	Media
Li-Polymer	70	200	250-1000	>1200	Media
NaS	70	120	120	2000	-
VRB	80	25	80-150	>16000	Despreciable
EDLC	95	<50	4000	>50000	Muy Alta
Pumped hydro	65-80	0.3	-	>20 años	Despreciable
CAES	40-50	10-30	-	>20 años	-
Volante (Acero)	95	5-30	1000	>20000	Muy Alta
Volante (Compuesto)	95	>50	5000	>20000	Muy Alta

Nota: VRB= Vanadium Redox Battery CAES= Compressed air energy storage EDLC= Electric double-layer capacitors

4. Conclusiones

El sistema de volante de inercia no es una tecnología nueva y su funcionamiento es relativamente simple, y principalmente en los últimos años se han logrado adaptar diseños para múltiples aplicaciones sencillas y avanzadas.

En los sistemas de transportación liviana (automóviles), existen limitantes de densidad de energía por lo que se han considerado aplicaciones en

sistemas híbridos aprovechando la energía cinética desperdiciada a través de frenos regenerativos. Los sistemas actuales apuestan por elementos como baterías, volante de inercia y transmisiones CVT.

En transportación pesada (Buses, camiones, trenes, entre otros), existen avances significativos que han dado lugar a la creación de nuevas tecnologías aplicaciones tales como el uso de los HTS con alta capacidad de velocidad, amortiguación y descarga; sistemas DDPM hidráulicos que son adaptables

a sistemas que ocupan energías fósiles; sistemas Gimbal cuyo propósito es reducir los costos de salida de volantes de inercia, entre otros.

Los nuevos sistemas utilizados en vehículos tienen excelentes ventajas como pérdidas de fricción muy baja, larga vida útil, poco mantenimiento, costo ambiental reducido, reducción de emisiones contaminantes, entre otros; y son adaptables a cualquier tecnología de transporte.

Los sistemas de alta velocidad y descarga son más costosos, y algunos sistemas necesitan de refrigeración criogénica (HTS). La elevación de los costos viene dada por el tipo de materiales que ocupa el volante de inercia. La velocidad máxima se limita por las propiedades del material. El desarrollo de nuevos materiales y la reducción de costos es un objetivo en el cual trabajan actualmente varias empresas dedicadas a la fabricación de volantes.

Actualmente la tecnología de fibra y cojinetes superconductores ha permitido el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía de alta eficiencia y alta densidad de energía.

Nueve estudios revelan que la tecnología de FESS puede competir con los ultracondensadores tanto desde el punto de vista del costo como de potencia. [29] Se ha considerado investigar nuevos materiales para volantes como el nanotubo de carbono y combinar con tecnologías HTS, dando como resultado sistemas con alta densidad energética y alta potencia, tiempos de carga y descarga rápidos comparables con las mejores pilas de combustible actuales, ciclos de vida superiores a 25 años y con un punto importante que es el bajo costo y mantenimiento. Algunos de estos sistemas alcanzan velocidades superiores a 500.000 RPM.

Referencias

- [1] D. Schultz, *Conventional and Advanced Flywheel Energy Storage*, 2014.
- [2] M. Hedlung, J. Lundin, J. De Santiago y J. Abrahamson, «Flywheel Energy Storage for Automotive Applications,» *Energies*, nº 8, pp. 10636-10663, 2015.
- [3] D. Bender, «Flywheels,» California, 2015.
- [4] F. Martínez, *Diseño de un acumulador de energía cinética para sistema Start&Stop*, 2013.
- [5] CIEMAT, «Kinetic energy storage based on Flywheels: Basic concepts, state of the art and analysis of applications,» *Project EERA*, 2015.
- [6] J. D. Sujit Kumar, «Application and Use of Flywheel in Engineering: Overview,» *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, pp. 85-90, 2013.
- [7] Ricardo, «Breakthrough in Ricardo Kinergy 'second generation' high-speed flywheel technology,» 22 Agosto 2011. [En línea]. Available: <http://www.ricardo.com/en-GB/News--Media/Press-releases/News-releases1/2011/Breakthrough-in-Ricardo-Kinergy-second-generation-high-speed-flywheel-technology/>.
- [8] B. Bolund, H. Bernhoff y M. Leijon, «Flywheel energy and power storage systems. Renew Sustain Energy,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 235-258, 2007.
- [9] L. Masferrer, *Análisis y Diseño de Volantes de Inercia de Materiales Compuestos*, 2005.
- [10] A. Sáenz y J. Tresaco, «Sistema para la Recuperación de la Energía Cinética perdida durante la Frenada en la Fórmula 1,» 2010. [En línea]. Available: <https://zagan.unizar.es/record/5722/files/INPRO--2011-001.pdf>.
- [11] K. N. Shreemoy, *Design of Kinetic Energy Recovery System for Bicycle*, 2014.
- [12] S. H. Saheb, C. Deepak y A. Sagar, «Analysis and Application of Various Kers (Kinetic Energy Recovery System) On Bicycle Considering Weight Limitations for Maximum Performance,» *International Journal of Engineering Research And Management (IJERM)*, pp. 14-17, 2015.

- [13] M. López, «La buena vida,» 7 Enero 2015. [En línea]. Available: http://www.labuenavida.cc/2015/01/la-bicicleta-que-aprende-sobre-la-ciudad/#.WN-BIdvk1_IU.
- [14] The Boston Globe, «The Copenhagen Wheel,» Enero 2016. [En línea]. Available: http://archive.boston.com/lifestyle/green/articles/2009/12/16/the_wheel/.
- [15] F. Kirbus, «Autoblog.com.ar,» 11 Marzo 2011. [En línea]. Available: <http://autoblog.com.ar/2011/03/11/gyrobus-como-era-viajar-en-el-colectivo-con-sistemas-de-los-anos-%E2%80%98850/>.
- [16] Torotrak Group, «Bus KERS – Coming to a bus stop near you,» 05 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.torotrak.com/bus-kers-coming-to-a-bus-stop-near-you/>.
- [17] J. Wheals, J. Taylor y W. Lanoe, «Rail Hybrid using Flywheel,» de *Den Danske Banekonference 2016 - Tivoli Congress Centre*, Copenhagen, 2016.
- [18] M. Alba, «Engineering.com,» 19 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/13957/Using-Flywheels-in-Light-Rail-Transit.aspx>.
- [19] H. Jordan, J. Herbst y R. Hayes, «Flywheel Energy Storage System and their Applications,» *SMMA 2002 Fall Technical Conference*, pp. 1-5, 2002.
- [20] J. Wheals, W. To, M. Vigar, J. Hodgson, J. Buchanan, A. Robertson, J. Macpherson, J. Taylor, W. Lanoe y M. Heaton, «Viable flywheel system for rail,» 2015.
- [21] Sintropher, «Innovative Technologies for Light Rail and Tram: A European reference resource,» INTERREG IVB, UE, 2015.
- [22] K. Nagashima, «Research and Development Concerning Superconducting Maglev and Research on Applying Its Technology to Conventional Railways System,» *QR of RTRI*, pp. 175-178, 2016.
- [23] G. Hui, Z. Changguo, C. Liangliang y L. Huailiang, «Research on maglev flywheel energy storage system for electric vehicle,» *Advanced Materials Research*, pp. 1078-1085, 2012.
- [24] C. Hearn, M. Flynn, M. Lewis, R. Thompson, B. Murphy y R. Longoria, «Low Cost Flywheel Energy Storage for a Fuel Cell Powered Transit Bus,» *IEEE - Report*, pp. 1-8, 2007.
- [25] F. Martinez, *Diseño de un acumulador de energía cinética para sistema Start&Stop*, Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2013.
- [26] J.-C. Olivier, N. Bernard, S. Trieste, L. Mendoza y S. Bourguet, «Techno-economic Optimization of Flywheel Storage System in transportation,» *Symposium de Genie Electrique*, 2014.
- [27] M. S. KUMAR y Y. KUMAR, «OPTIMIZATION OF FLYWHEEL MATERIALS USING GENETIC ALGORITHM,» *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering*, pp. 37-40, 2012.
- [28] M. Lazarewicz y D. Bender, «Flywheels: An Overview of Applications and Technology,» *Helix power*, 2013.
- [29] Boeing Research & Technology, «Boeing Flywheel Energy Storage Technology,» BOEING, 2012.
- [30] S. Vazquez, S. Lukic, E. Galvan, L. Franquelo y J. Carrasco, «Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications,» *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, pp. 3881-3895, 2010.

- [31] L. Giorgi, «Sustainable mobility. Challenges, opportunities and conflicts – a social science perspective,» *International Social Science Journal*, pp. 179-183, 2004.
- [32] United Nations Centre for Regional Development, *Mobility and NMT in Sustainable Urban Development – Role of City, Ulaanbaatar: UNCRD*, 2018.
- [33] OECD, *Managing the Fundamental Drivers of Transport Demand*, París: ECMT Publications, 2003.
- [34] OECD, «Towards Green Growth: Monitoring Progress,» OECD, París, 2011.
- [35] G. Santos, H. Behrendt y A. Teytelboym, «Part II: Policy instruments for sustainable road transport,» *Research in Transportation Economics*, pp. 46-91, 2010.
- [36] B. Elzen, F. W. Geels y K. Green, *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2004.
- [37] UNEP, *Design for Sustainability*, País: UNEP, 2006.
- [38] H. B. de Barros Pereira y P. F. de Almeida Souza, «Design for Sustainability:,» *5th European Academy of Design Conference*, pp. 1-17, 2003.
- [39] T. Goldman y R. Gorham, «Sustainable urban transport: Four innovative directions,» *Technology in Society*, pp. 261-273, 2006.
- [40] P. Nijkamp, U. B. Erik Verhoef y C. Rodenburg, «Sustainable mobility,» *Transportation engineering and planning*, pp. 1-10, 2001.
- [41] P. Nieuwenhuis, P. Vergragt y P. Wells, *The Business of Sustainable Mobility: From Vision to Reality*, New York: Routledge, 2017.
- [42] W. R. Black, «Socio-economic barriers to sustainable transport,» *Journal of Transport Geography*, pp. 141-147, 2000.
- [43] C. Doll y M. Wietschel, «Externalities of the transport sector and the role of hydrogen in a sustainable transport vision,» *Energy Policy*, pp. 4069-4078, 2008.
- [44] D. Banister, «Cities, mobility and climate change,» *Journal of Transport Geography*, pp. 1538-1546, 2011.
- [45] J. M. López Pol y M. d. V. Segarra-Oña, «Smart Cities: nuevos focos de innovación para un desarrollo sostenible,» *Universidad Politécnica de Valencia*, pp. 1-29, 2013.
- [46] P. Neirotti, A. De Marco, A. C. Cagliano, G. Mangano y F. Scorrano, «Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts,» *Cities*, pp. 25-36, 2014.
- [47] T. Nam y T. A. Pardo, «Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions,» *The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research*, pp. 282-291, 2011.
- [48] J. Zawieska y P. Jana, «Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation,» *Transport Policy*, pp. 39-50, 2018.
- [49] S. d. Movilidad, «MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,» 2016. [En línea]. Available: <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnostico-movilidad.pdf>.
- [50] F. J. Carphio Martínez, «UDLA,» 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/3656>.
- [51] M. D. D. M. D. QUITO, «PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/118765-opac>.

- [52] Enerlis; Ernst; Young, «LIBRO BLANCO SMART CITIES,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://www.innopro.es/pdfs/libro_blanco_smart_cities.pdf.
- [53] D. Cárdenas y F. Camargo, «Las smart cities, la comunicación y el diseño: un reto de la sociedad del conocimiento.,» *Vir-tu@lMente*, pp. 42-55, 2016.
- [54] ANT, «Plan Nacional de Seguridad Vial,» Agencia Nacional de Tránsito, 2013.
- [55] J. S. Vizcarra, 2010. [En línea]. Available: <https://www.puce.edu.ec/documentos/opsa/Movilidad.pdf>.
- [56] L. Hora, «La Hora,» 01 05 2010. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1028329/pico-y-placa-guc3ada--para-los-carros-que--vienen-a-la-ciudad>.
- [57] A. M. d. Transito, 2018. [En línea]. Available: <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>.
- [58] EPMTTP, 15 03 2017. [En línea]. Available: <http://www.trolebus.gob.ec/index.php/sobre-nosotros/historia-institucional>.
- [59] M. B. Merizalde, 30 11 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito-primer-bus-electri-co-transporte.html>.
- [60] Quitoinforma, 01 12 2017. [En línea]. Available: <http://www.quitoinforma.gob.ec/2017/12/01/el-primer-bus-articulado-electrico-ya-circula-en-quito/>.
- [61] A. Almeida, 01 12 2017. [En línea]. Available: <http://www.extra.ec/actualidad/bus-electrico-quito-transporte-publico-BG1877892>.
- [62] BiciQuito, 2017. [En línea]. Available: <http://www.biciquito.gob.ec/index.php/info/que-es.html>.
- [63] G. M. d. Rumiñahui, 19 01 2017. [En línea]. Available: http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=374:&catid=8&Itemid=113&lang=kw.
- [64] Distrito Metropolitano de Quito, «Plan maestro de movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito: 2009-2025,» Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2009.
- [65] RCP Consultores Asociados, «Consultoría a fin de desarrollar los estudios para la armonización del sistema de revisión técnica vehicular obligatoria del Distrito Metropolitano de Quito a la nueva Legislación Nacional y a los requerimientos técnicos actuales,» Agencia Metropolitana de Control de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2017.
- [66] T. Khokhar, «Tres grandes ideas para lograr ciudades y comunidades sostenibles,» 31 Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/01/31/3-big-ideas-to-achieve-sustainable-cities-and-communities>.
- [67] M. Bouskela, M. Casseb, S. Bassi, C. De Luca y M. Facchina, «La ruta hacia las Smart Cities, Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente,» 2016. [En línea]. Available: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>.
- [68] prooV, «Smartphones to Smart Cities: How technology is impacting our lives,» 2017. [En línea]. Available: <http://proov.io/2016/08/17/smartphones-to-smart-cities-how-technology-is-impacting-our-lives/?preview=true>.

- [69] S. C. ATLAS, «SMART CITIES ATLAS,» 02 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.smartcitiesatlas.com/transporte-y-movilidad-en-una-ciudad-inteligente/>.
- [70] M. Vicoso, «El independiente,» 29 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.elindependiente.com/economia/2017/04/29/el-reto-del-siglo-xxi-es-mejorar-la-calidad-de-vida-en-las-ciudades/>.
- [71] Metro Ecuador, «metroecuador.com,» 03 06 2017. [En línea]. Available: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2017/07/03/municipio-quito-recogera-datos-planificar-movilidad-smart-city.html>.
- [72] Alcalde Metropolitano, «Quito será la primera Smart City de Latinoamérica,» 30 Junio 2017. [En línea]. Available: http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=26710&umt=Quito%20ser%20la%20primera%20Smart%20City%20de%20Latinoam%20E9rica.
- [73] EL Comercio, «Movilidad sostenible para una ciudad moderna,» *Tendencias*, p. 2, 10 Diciembre 2017.
- [74] A. Metropolitana, «quito.gob.ec,» 30 06 2017. [En línea]. Available: http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=26710&umt=Quito%20ser%20la%20primera%20Smart%20City%20de%20Latinoam%20E9rica.
- [75] M. A. González, «Criterios de diseño industrial para una propuesta conceptual en el desarrollo de vehículos de los SITP de,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2015.
- [76] National Geographic, «Medio Ambiente,» 8 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/07/grandes-proyectos-de-transporte-sostenible-para-luchar-contra-los-atascos-en>.
- [77] G. M. Martin, «Proceedings of the NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Revisions,» *Univ. of Southern Calif*, 1994.
- [78] ASCE 7, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2016.
- [79] R. F. Obrzud y A. Truty, THE HARDENING SOIL MODEL-A PRACTICAL GUIDEBOOK, Préverenges: Structures, 2018.
- [80] T. Schanz, P. Vermeer y P. Bonnier, «The hardening soil model: Formulation and verification,» *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, p. 16, 1998.
- [81] PLAXIS, Material Models Manual, 2017.
- [82] S. Jaky, «The coefficient of earth pressure in Normally Consolidated Clays,» *Proceedings of the Seventh European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1944.
- [83] P. Mayne y F. Kulhawy, «Ko-OCR Relationships in soil,» *Journal of the Geotechnical Division ASCE Vol108-n 6, 851-872*, 1982.
- [84] J. Biarez y P. Hicher, «Elementary Mechanics of Soil Behaviour. Saturated remoulded soils,» 1994.
- [85] Y. Nakamura, «A METHOD FOR ESTIMATING THE DYNAMIC CHARACTERIZATION OF THE SUBSOIL USING MICROTREMORS ON THE SOIL SURFACE,» p. 33, 1989.
- [86] Pacific Earthquake Engineering Research Center, «PER Ground Motion Database,» 04 06 2019. [En línea]. Available: www.ngawest2.berkeley.edu.
- [87] A. Alvarado, Neotectonique et cinématique de la deformation continentale en Equador, Arrete: Universite de Grenoble, 2012.

- [88] R. Aguiar, Espectros de control para la ciudad de Quito-Ecuador (Obtención de espectros mediante modelos determinísticos asociados a las fallas ciegas inversas de Quito), Barcelona: A.H. Barbat, 2015.
- [89] H. Parra, Desarrollos Metodológicos y aplicaciones hacia el calculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio e riesgo sísmico en la ciudad de Quito, Madrid: Desarrollos Metodológicos y aplicaciones hacia el calculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio e riesgo sísmico en la ciudad de Quito, 2016.
- [90] K. Campbell y Y. Borzognia, NGA-Wets2 Campbell-Bozornia Ground Motion Model for the Horizontal Components of PGA, PGV and 5% Damped Elastic Pseudo-Acceleration Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 sec, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [91] J. Kaklamanos, L. G. Baise y D. M. Boore, «Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice,» *Earthquake Engineering Research Institute*, p. 17, 2011.
- [92] N. Abrahamson, W. Silva y R. Kamai, «Summary of the ASK14 Ground-Motion Relation for Active Crustal Regions,» *Earthquake Spectra*, p. 39, 2014.
- [93] N. Abrahamson, W. Silvia y K. R., Update of the AS08 Ground-Motion Prediction Equation Based on the NGA-West2 Data Set, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [94] B. Chiou y R. Youngs, Update of the Chiou and Youngs NGA Ground Motion Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.
- [95] PEER, Users Manual for the PEER Ground Motion Database Web Application, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2011.
- [96] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capitulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [97] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capitulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [98] NIST GCR 12-917-21, Soil-Structure Interaction for Building Structures, Gaithersburg: U.S Department of Commerce, 2012.
- [99] A. Chopra, Dinámica de estructuras, México Df: Pearson, 2014.
- [100] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capitulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.
- [101] «Instituto Geofísico,» 02 10 2019. [En línea]. Available: www.igepn.edu.ec.
- [102] MIDAS, New experience Geotechnical analysis System, 2019.
- [103] U.S Geological Survey & Esc. Politécnica Nacional, «Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceanicas Adyacentes,» USGS, Denver & Quito, 2003.
- [104] P. Von Soos, «rundbatschenbuch. Part 4. Ernst & Sohn,» 1991.
- [105] Pacific Earthquake Engineering Research Center, «PER Ground Motion Database,» 25 09 2019. [En línea]. Available: www.ngawest2.berkeley.edu.
- [106] E. Carreño, «Registros y tratamiento de acelerogramas,» *Física y tierra*, p. 31, 1999.
- [107] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Capitulo de Peligro Sísmico y Diseño Simoresistente, Quito, 2015.

- [108] ISTAS, Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=2207>.
- [109] G. Martínez y B. Rodríguez, Enero 2012. [En línea]. Available: <http://www.eoi.es/blogs/galirmartinez-barros/>.
- [110] Habitat, Septiembre 2013. [En línea]. Available: http://habitat.aq.upm.es/boletín/n34/arcor_3.html.
- [111] R. Rivera, «Cueronet,» 2014. [En línea]. Available: http://www.cueronet.com/tecnica/normasiso14000_anexo3.htm.
- [112] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas y V. Efthimiou, «Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 13, p. 1513–1522, 2009.
- [113] L. Milla, «Evolución de la Energía Convencional y No Convencional,» *Industrial Data*, vol. 5, nº 2, pp. 78-85, Mayo 2002.
- [114] Red Eléctrica de España, Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.ree.es/es/red21/idi/proyectos-idi/proyecto-volante-inercia>.
- [115] RED Eléctrica de España, «Estabilizador de frecuencia y tensión basado en el volante de inercia. Proyecto de I+D+i,» España, 2014.
- [116] The Open Door Web Site, «Factors Which Determine the Moment of Inertia of a Body,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.saburchill.com/physics/chapters/0022.html>.
- [117] B. Wheeler, «Flywheel Energy Storage,» 24 Octubre 2010. [En línea]. Available: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/wheeler1/>.
- [118] M. Molina, «Dynamic Modelling and Control Design of Advanced Energy Storage for Power System Applications,» *In-Tech*, 2010.
- [119] O. Martínez, «UVaDOC Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid,» Enero 2014. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/11605/1/TFM-I-179.pdf>.
- [120] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, «Flywheel Energy Storage,» Federal Energy Management Program, Illinois, 2003.
- [121] E. Shahat, A. Keyhani y H. Shewy, «SPACECRAFT FLYWHEEL HIGH SPEED PMSYNCHRONOUS MOTOR DESIGN (CLASSICAL&GENETIC),» *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, pp. 83-100, 2005.
- [122] Ibertrónica, «Sistemas Ibertrónica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.ibertronica.es/blog/tutoriales/funcion-pwm/>.
- [123] Kinetic Traction Systems, «KTSi (UK) Design Centre Limited,» 2016. [En línea]. Available: <http://kinetictraction.com/applications/>.
- [124] Caterpillar, «Cat - UPS Flywheel,» Enero 2017. [En línea]. Available: https://www.cat.com/en_US/power-systems/electric-power-generation/ups-flywheel.html.
- [125] Vycon, «Critical Power Systems,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.criticalpower.ca/media/uploads/files/overview-Energy-Storage.pdf>.
- [126] 马同金, «Aircraft carrier energy accumulation flywheel transmission arm return system». China Patente CN103910072 A, 2014.
- [127] Bleck & Bleck Architects, «What is a Flywheel Launched Coaster?,» Bleck & Bleck Architects, LLC, Chicago, 2015.
- [128] P. Philip, «Quora,» 8 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.quora.com/How-is-Flywheel-used-in-spacecraft-navigation-and-guidance-system>.

- [129] SZYKANA, «KERS Comes to Cars as Jaguar Tests Flywheel Hybrid,» 2 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://szykana.wordpress.com/tag/kers/>.
- [130] C. Gable y S. Gable, «Thought Co.,» 4 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.thoughtco.com/how-does-regenerative-braking-work-85465>.
- [131] C. Lampton, «Regenerative Braking,» 2016. [En línea]. Available: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking6.htm>.
- [132] STORNETIC, «STORNETIC GmbH,» 7 Septiembre 2016. [En línea]. Available: http://stornetic.com/assets/downloads/EN_Pressemitteilung_Innotrans_final.pdf.
- [133] F. N. Werfel, R. Rothfeld, T. Riedel, D. Wippich, P. Schirrmeister y R. Koenig, «HTS Bulk Magnetic Application in Flywheel Energy Storage Systems FESS and MAG-LEV Transportation,» *Adelwitz Technologiezentrum GmbH (ATZ)*, pp. 1-16, 2014.
- [134] PROPEL STEPS - EDUCATION IS EVERYTHING, 23 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://propelsteps.wordpress.com/2015/04/23/know-how-maglev-trains-works-without-wheels/how-maglev-train-works/>.
- [135] F. Werfel, U. Floegel-Delor, R. Rothfeld, T. Riedel, B. Goebel, D. Wippich y P. Schirrmeister, «Superconductor bearings, flywheels and transportation,» *SUPERCONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY*, pp. 1-16, 2011.

El Proceso del Diseño Industrial como Herramienta de la Gestión de la Empresa

The Process of Industrial Design as a Tool for Business Management

Arroyo F.1; Bravo. D.2

¹Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. Valladolid, España.
e-mail: flavio.arroyo@gmail.com

²Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.
Camí de Vera. Valencia, España.
e-mail: delydis@gmail.com

Información del artículo

Recibido: abril 2020

Aceptado: mayo 2020

RESUMEN

El diseño industrial es una valiosa herramienta que las empresas pueden implementar a su favor, lamentablemente pocas son las que están conscientes de que para el surgimiento de ellas, se debería desarrollar innovación a través del diseño tanto para productos como servicios, mediante la difusión de las tecnologías, el acortamiento del ciclo de vida de los productos y las estrategias empresariales que refieren a la necesidad de atender demandas, es decir, identificar oportunidades basados en modelos estratégicos los mismos que refuercen la competitividad de las empresas, sin olvidar la importancia de la innovación de productos, sistemas o servicios que manejen estrategias amigables con el medio ambiente, teniendo en cuenta la implementación de la economía circular, lo que favorece a las empresas en sus finanzas. Entonces la adaptación y modificación continua de sus productos a través de todos los medios mencionados anteriormente ayudarán a mantener su posición y obtener ventajas sobre sus competidores.

Palabras Clave: *Diseño Industrial, Metodologías del Diseño Industrial, Gestión Estratégica, Innovación Empresarial, Modelos de Gestión.*

ABSTRACT

Industrial design is a valuable tool that companies can implement in their favour, unfortunately there are few who are aware that for the emergence of them, innovation should be developed through design for both products and services, by disseminating the Technologies, shortening the life cycle of products and business strategies that refer to the need to meet demands, that is, to identify opportunities based on strategic models that reinforce the competitiveness of companies, not forgetting the importance of innovation Of products, systems or services that handle environmentally friendly strategies, taking into account the implementation of the circular economy, which favors companies in their finances. Then the continuous adaptation and modification of your products through all means mentioned above will help to maintain your position or gain advantages over your competitors.

Keywords: *Industrial Design, Industrial Design Methodologies, Strategic Management, Business Innovation, Management Models*

1. Introducción

El éxito de una empresa sin duda se debe a múltiples factores, que, al ser estructurados de forma correcta, resultan en herramientas claves para el renombre y posicionamiento de una entidad empresarial. Desde la década de los 70, estos factores han ido cambiando la forma de determinar la competitividad de las empresas. Consecuentemente el Diseño Industrial no puede existir sin empresas o industrias, las mismas que están vinculadas a un mercado y usuarios objetivos. Muchas de las veces las empresas omiten el diseño en sus actividades debido al incremento de gastos estancándose en el nulo desarrollo de patentes, competitividad mínima, mercados pequeños sin posibilidades de expansión y daños al medio ambiente.

Las empresas se han enfocado en producir y vender más barato y plasmar en sus productos cualidades y atributos que les permitan competir, reduciendo costos de producción que resultan ser una desventaja al compararlos con la competencia. Aquí radica la importancia el diseño, ya que gracias a su aporte se pueden generar productos y servicios que muestren un alto contenido simbólico sin olvidar lo estético funcional, para responder a las necesidades de los usuarios, además incrementa el valor económico de los productos al enmarcarlos en un contexto de calidad y buenos diseños.

Se define el diseño industrial como la actividad que prevé y define los requisitos de los productos y los proyecta tal y como se producirán posteriormente en serie [1]; es así como el diseño industrial constituye un recurso indispensable para el éxito de una empresa, repercutiendo directamente en la optimización de los recursos de la misma y en el éxito del producto en el mercado; sin embargo, su importancia aun no es entendida por muchas empresas. Según el artículo de [2] "Importancia del Diseño Industrial en la Gestión Estratégica de la empresa", se pone en manifiesto el valor que tiene el diseño en la empresa. Actualmente, el aumento de la competencia, globalización, mercados divididos, propagación de tecnologías, acortamiento del ciclo de vida de los productos y finalmente las nuevas exigencias que presentan los consumidores, muestra el aporte del diseño en la resolución de dichas necesidades, con el afán de mejorar la productividad de la empresa y estrechar lazos con los usuarios.

El diseño constituye un eje fundamental que permite promover el desarrollo de nuevos productos, funcionales y altamente eficientes, que satisfacen las necesidades propias del mercado y muestran el sello diferenciador que le otorga el valor agregado a la producción, motivo por el que las empresas que acogen al diseño como eje dentro de sus lineamientos, son capaces de diferenciarse, adaptarse e innovar sus productos, lo que les otorga una ventaja competitiva que les mantiene posicionados en el mercado.

El diseño participa en el posicionamiento estratégico y en el proceso de construcción de una ventaja competitiva [3]. El proceso de diseño es visto como una representación mental de un modelo de gestión que organiza de forma paralela la ingeniería y la innovación [4]. Por tal motivo abarca múltiples actividades, tales como investigación y desarrollo, las mismas que además de tener un carácter formal poseen un carácter creativo, que se mantienen en constante cambio, a fin de satisfacer las necesidades de los usuarios, sin olvidar la importancia de la innovación al fin de conseguir mejores diseños, reducción de costos y una calidad competente. Por tal motivo, la empresa que aplica el diseño adquiere una ventaja ante otras permitiéndole un mejor desempeño en el mundo globalizado.

En el presente artículo se definen los conceptos de mayor relevancia para el diseño industrial y la relación que este guarda con la gestión empresarial, además se analizará la importancia del diseño industrial como un instrumento del desarrollo de la gestión e innovación de las empresas.

2. Materiales y Método

2.1. Metodología

Este trabajo emplea una metodología basada en la Investigación Científica y el Método Deductivo Indirecto para la posterior deducción de conclusiones a presentarse en este documento, las metodologías propuestas serán empleadas con el fin de identificar como el Diseño Industrial se integra a la Gestión Estratégica de una empresa constituyéndose como una herramienta. Para llegar a este objetivo se ha empezado con una fase previa, donde mediante la revisión bibliográfica de temas específicamente ordenados y vinculados al objetivo principal, se emiten importantes conclusiones y se

plantea un posible modelo de gestión empresarial a partir de uno ya existente encontrado en la investigación.

El método deductivo indirecto emplea silogismos lógicos con lo que se compara premisas para ver la relación de están con otra, así se menciona en el documento [5].

Entre los elementos a investigar se resaltan: Metodologías del Diseño Industrial, Estratégica del Diseño, Gestión Estratégica Empresarial, Modelos de Estrategia Empresarial, Gestión Estratégica y el perfeccionamiento empresarial y la Innovación Empresarial, temas que están inmersos en el éxito empresarial con la inserción del Diseño Industrial.

2.2. Diseño Industrial: definición, historia y conceptos

El Consejo Internacional de Diseño Industrial (ICSID, *International Council of Societies of Industrial Design*) define el diseño como una actividad proyectual que se encarga de precisar las múltiples cualidades de objetos, procesos, servicios y sistemas en completos ciclos vitales; es por ello que el diseño es considerado como el eje central de la humanización innovadora de tecnologías y el factor crucial del intercambio económico y cultural. A esta definición se le puede agregar que el diseño industrial tiene como objetivo, resolver las complejas relaciones entre la forma y la función de los objetos capaces de ser producidos en serie, considerando los potenciales beneficios de la comercialización de estos objetos.

El diseño Industrial es una disciplina que se remonta a la revolución industrial (1750), pero es a principios de siglo XX donde toma forma como profesión y desde entonces se ha ido desarrollando paulatinamente. En esta época surgieron escuelas de arte, como, *Arts and Crafts* (artes y oficios) [6] y el *Art Nouveau* (Arte Nuevo), que participaron en el desarrollo del diseño de productos, con creaciones artesanales con altos contenido artístico. Pero, en 1919, la escuela de la Bauhaus (casa de construcción) [7], fundada en Alemania, fue la que propuso en su filosofía, la unión de la belleza y tradición de los oficios y las artes con las nuevas tecnologías industriales, en busca de que los productos, al ser más baratos y creados a mayor velocidad, puedan llegar a todos los estratos de la sociedad.

En los años sesenta el diseño industrial toma un mayor impulso, antes de esta época la demanda superaba ampliamente a la oferta de productos, pero esto se superó rápidamente gracias a la revolución de los transportes y comunicaciones, los cuales permitieron mayores intercambios comerciales y la economía empezó a globalizarse, lo que ocasionó una mayor competencia por el desarrollo empresarial y económico, la cual se ha ido acrecentando hasta la actualidad.

Por otra parte, es importante definir algunos conceptos importantes asociados al diseño industrial:

Producto tangible: Es un conjunto de productos que presentan atributos y características físicas que denotan su calidad y estilo, dentro de ellos también están presentes el envase, el embalaje y la marca.

Proceso de producción: Es un conjunto de operaciones a través de las que los factores se transforman en productos que pueden ser bienes físicos o servicios [8]. Estos procesos son los encargados de dar valor a los conceptos de diseño propuestos y a los materiales que se utilizarán en el producto.

Innovación: La Unesco (1977) indica que la innovación involucra el empleo de los resultados de la investigación fundamental y aplicada en la introducción de nuevas aplicaciones o en la mejora de aplicaciones ya existentes.

Estrategia: H. Koontz en su libro, *Estrategia control y operación* (1991), menciona que, las estrategias son el conjunto de acciones que llevan consigo responsabilidades, tareas y recursos para lograr una misión. Es decir, el conjunto de objetivos, a través de los que se busca cumplir con los propósitos de una organización siguiendo un rumbo previamente planificado. Por otro lado, el Diseño estratégico, se encarga de analizar las capacidades del diseño en el sector estratégico, proyectual y operativo de la organización industrial, para generar esquemas de interdisciplinariedad y trabajo en equipo, así como control sobre los procesos y en general las acciones necesarias para llevar a cabo las estrategias, a fin de facilitar el análisis y toma de decisiones sobre los proyectos por implementar, el control sobre las actividades y el tiempo necesario para cumplir con los deseos y demandas de los usuarios [9].

2.3. Metodologías del diseño industrial

Tradicionalmente la fabricación y el diseño estuvieron unidos en la creación de objetos, no obstante, es a partir del auge industrial, donde la figura del diseñador toma gran importancia, nace la necesidad de integrar al diseño una metodología que sea capaz de describir al artefacto a diseñar de acuerdo a los requerimientos demandados por clientes y productores, y resolver problemas complejos de diseño. Esto es corroborado por [10] quienes sostienen que, el objetivo principal del diseño industrial es satisfacer las necesidades de los usuarios a través de la creación de productos y servicios. De esto se destaca que la principal relación que resuelve el diseño industrial son los aspectos entre el usuario y el producto antes que las relaciones internas del producto, por lo tanto, las actividades que incluyen los aspectos técnicos están relacionadas con la ingeniería antes que con el diseño.

Según [11], esta metodología se basa en el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio, con el objetivo de establecer estructuras apropiadas para el proceso de diseño, que incluyen procesos de análisis y síntesis a fin de dar solución a problemas de diseño.

Los métodos del diseño históricamente pueden clasificarse en métodos artesanales o intuitivos y en métodos contemporáneos, donde los primeros resultan insuficientes en muchos casos, dada la gran complejidad que requieren un elevado número de proyectos industriales. Los métodos contemporáneos son procedimientos elementales y con una finalidad parcial que cumplen determinadas misiones en el proceso de diseño [12].

Sin embargo, según Níquel Cross, existe otra clasificación, según las etapas de diseño en las que se interviene, mientras que para [13], los métodos del diseño están clasificados desde la perspectiva del cliente, del diseñador y de la comunidad.

Actualmente existe un sin número de métodos y metodologías del diseño, las cuales encajan en las clasificaciones anteriores, algunas pueden estar inmersas o requerir de otras metodologías para su aplicación. Existen metodologías que desarrollan el diseño en todas sus fases, desde la concepción de la idea, hasta la disposición final del producto diseñado. Mientras que algunas metodologías o

métodos se usan únicamente como herramientas para el análisis de un factor específico del diseño. Los métodos de interés en el presente artículo son los siguientes:

- Metodología para el desarrollo de productos del INTI.
- Metodología del ecodiseño.
- QFD (Despliegue de la función de calidad).
- *Design Thinking*.
- Economía Circular.

A continuación, se definen los aspectos más importantes de estas metodologías:

2.4. Metodología para el desarrollo de productos del INTI

Esta metodología propuesta por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de la República de Argentina, se enfoca en el desarrollo total de un producto que sea capaz de ser producido industrialmente, en cada una de las etapas siguientes: Definición estratégica, Diseño de concepto, Diseño en detalle, Verificación y testeo, Producción, Mercado, y, Disposición final [14].

2.5. Metodología del Ecodiseño

El Ecodiseño se define como: Proceso de diseño que considera los impactos medioambientales en todas las etapas del proceso de diseño y desarrollo de productos, para lograr productos que generen el mínimo impacto medioambiental posible a lo largo de todo su ciclo de vida.

Los pasos para seguir para el desarrollo de un proyecto de ecodiseño varían de acuerdo a los actores, pero en términos generales, el ecodiseño conlleva los siguientes pasos:

Paso 1.- Organización del proyecto y selección del producto

Paso 2.- La estrategia del Ecodiseño

Paso 3.- ¿Cómo mejorar el producto? Obtención de ideas

Paso 4.- Concreción del producto: pliego de condiciones y desarrollo Metodología de Ecodiseño

Paso 5.- Desarrollo a detalle del concepto seleccionado

Paso 6.- Plan de Acción a futuro en el producto y en la empresa

Paso 7.- Comunicación exterior de un proyecto de Ecodiseño.

2.6. QFD (Despliegue de la función de calidad)

Es un sistema que busca focalizar el diseño de los productos y servicios para dar respuesta a las necesidades de los clientes. Lo que implica traducir la voz del cliente en requerimientos de diseño y parámetros técnicos de producción, estos requerimientos están analizados en función de las características de la competencia, los requerimientos importantes de los clientes, la dificultad organizacional de cada propuesta de mejora y las correlaciones existentes entre aquella propuesta. Además, el QFD es una herramienta dinámica que permite controlar los requerimientos de los clientes y evaluar los posibles cambios que puedan darse en el tiempo.

2.7. Design Thinking

Su nombre lo indica, esta metodología se enfoca en la solución de problemas, con ideas innovadoras exclusivamente enfocadas en el diseño. La aplicación de esta metodología genera grandes beneficios para las organizaciones en el diseño de soluciones, sobre todo en la comercialización. Es una metodología centrada en las personas, en sus necesidades y en la manera de satisfacer esas necesidades de una manera que sea tecnológicamente factible.

En general el “*Design Thinking*” empieza empatizando con las personas que están relacionadas con el producto o servicio de interés, para definir el problema en base a la información obtenida, el siguiente paso es idear soluciones que posteriormente se convertirán en modelos, los cuales se pondrán a prueba antes de su definitiva implementación.

2.8. Economía Circular

La economía circular es un modelo de gestión que busca el desarrollo económico de las organizaciones, basado en un enfoque ambiental y social, además, crea oportunidades de mejora o de nuevos negocios.

Se inspira en los sistemas naturales y la forma en que estos sistemas administran los flujos de materiales y energía. Los principios de la economía circular son:

Desechos = Alimento: este principio identifica a los desechos de un sistema o proceso como la entrada (alimento) para un nuevo sistema o proceso.

La diversidad crea resiliencia: este principio hace énfasis en la capacidad de los sistemas naturales de ser fuertes mientras más elementos diferentes están relacionados con el sistema, es decir mientras más elementos están inmersos activamente en los sistemas o procesos, el sistema será menos propenso a tener fallas o a desaparecer.

Uso de energías renovables: Aquí se intenta que la energía necesaria para el funcionamiento del sistema o proceso sea energía renovable la cual además de generar beneficios ambientales, permita el ahorro de dinero para las organizaciones.

Pensar en sistemas: La economía circular trata de pensar en el beneficio y desarrollo de todos los elementos que están involucrados en los sistemas (organizaciones, proveedores, personas, gobierno, naturaleza, clientes, etc.), y en la importancia de que el sistema funcione adecuadamente para un modelo exitoso de negocios.

2.9. Alcance y áreas de aplicación del diseño industrial

Actualmente, el diseño industrial es conocido por un mayor número de personas, sin embargo, su noción se limita a breves rasgos de lo que implica esta actividad y los campos de desarrollo de un diseñador industrial, lo que se debe a que ciertas compañías diseñan, desarrollan y producen productos propios, haciendo entrever que no se necesita de esta actividad en la organización. El campo laboral del diseñador industrial se ha ampliado, permitiéndole relacionarse con el usuario por sus nuevos diseños y creativas invenciones que tienen

como objetivo principal la producción de manera industrial.

El diseñador industrial encuentra su principal campo de acción en la industria de la transformación y la maquila, además cuenta con un amplio conocimiento de innovación y producción por lo que puede desarrollarse en empresas públicas, privadas y organismos descentralizados o ejercer en forma independiente mediante el lanzamiento de cualquier tipo de producto, servicio o emprendimiento [15].

Un diseñador industrial tiene la capacidad de transformar la materia prima en productos altamente funcionales y estéticos, este puede usar todos los recursos existentes a su favor con el fin de satisfacer las necesidades de un público objetivo. Además, tiene la capacidad de dirigir un grupo de trabajo interdisciplinario que puede estar formado por técnicos, ingenieros, diseñadores, psicólogos, entre otros, que favorecen el desarrollo de productos capaces de satisfacer sus necesidades físicas, químicas, económicas y emocionales. Por otra parte, el diseñador industrial tiene una amplia gama de posibilidades para desarrollarse en el campo laboral tales como [16]:

- Planificación y desarrollo de productos
- Participación en la investigación y testeo de productos
- Participación en la estandarización de líneas de producción.
- Evaluación de patentes y marcas
- Colaboración en la vigorización de la pequeña y mediana industria
- Asesoría corporativa
- Colaboración en la enseñanza teórico-práctico del diseño
- Rediseño de productos existentes

En conclusión, el diseño industrial es una rama de diseño dedicada a la representación y creación de productos, estéticos, funcionales y ergonómicos aptos de ser producidos industrialmente, lo que da lugar a condiciones y comportamientos a los que debe adaptarse el diseñador y el tejido productivo a fin de adelantarse a las nuevas exigencias del mercado.

2.10. Gestión del diseño

La Gestión del Diseño es una disciplina empresarial que emplea la gestión de proyectos, el diseño, la estrategia y las técnicas de la cadena de suministro para intervenir en el proceso creativo, apoyar la cultura de creatividad y construir una estructura y una organización para el diseño [17].

Es necesario hablar de la gestión del diseño al igual que la gestión de cualquier otra actividad dentro de la empresa ya que el producto es el centro de funcionamiento de la empresa y es su razón de ser. La gestión del diseño dentro de la empresa se debe dar desde la concepción del diseño a fin de asignar los recursos suficientes a las actividades que se tienen programadas a lo largo del proceso creativo y productivo.

El departamento de diseño mantiene una estrecha relación entre los departamentos de marketing y producción con la finalidad generar productos que satisfagan las necesidades de los consumidores sin olvidar los requisitos de costes y producción, como se observa en la Figura 1. Una concepción de diseño ordenada asegura que un producto funcione de la manera que fue pensada y al mismo tiempo que el usuario lo interprete con el concepto que fue creada.

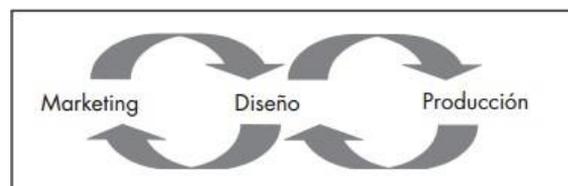


Figura 1. Relación del diseño con el marketing y la producción [1].

De igual manera, es importante conocer que un buen diseño ocasionalmente significa mayores ganancias para la empresa, ya que permite un precio superior al dar una mayor percepción de calidad al usuario. Además, la gestión del diseño le da coherencia a la empresa, ya que, el diseño de producto, diseño gráfico y diseño del entorno crean la imagen de la empresa y los comunican a través del producto, lo que ubica al diseño como eje fundamental dentro de la empresa.

2.11. Gestión estratégica empresarial

La gestión estratégica empresarial tiene una estrecha relación con la administración tradicional, pero toma más importancia a los siguientes elementos:

- La visión de la organización
- La actuación prospectiva de la organización
- Organización y definición de la dirección de la empresa
- Enfoque hacia el talento humano de la empresa considerado el pilar más valioso de la organización
- Enfoque en las metas a largo plazo

Por otra parte, se basa en las cinco fuerzas competitivas de la gestión empresarial: la amenaza de nuevos entrantes, la amenaza de productos o servicios sustitutos, el poder negociador de los proveedores, el poder negociador de los compradores y la rivalidad entre los competidores existentes, tomando en cuenta que el diseño debe estar en lo más alto de la estrategia de la empresa.

Estas fuerzas obedecen a cada sector de la industria que forma parte de su estructura, es por ello que una empresa puede generar ventaja competitiva al desarrollar características superiores a sus competidores. Una de estas es la variación de su mercado, otra es diferenciando sus costes, obteniendo una diferenciación visible por los consumidores. Razón por la cual las estrategias genéricas serían: liderazgo en costes, diferenciación y enfoque en un segmento.

2.12. Modelos de estrategia empresarial

La ventaja competitiva radica en ver a una empresa como un todo, ya sea en el diseño, producción, mercadotecnia, entrega y apoyo de sus productos.

En una serie de libros que se publicaron entre los años 1980 y 1990, por el economista e ingeniero eléctrico Michael Porter, reconocido por temas de estrategias de empresas, menciona que las ventajas competitivas vienen de actividades empresariales internas, sugiriendo que los factores primordiales que determinan la rentabilidad de un negocio [18] y son:

- Las cinco fuerzas que moldean la estructura de una industria, las mismas que resultan crucia-

les desde un punto de vista de la formulación estratégica, de esta manera siempre estará relacionada la empresa con su medio ambiente. El objetivo que presenta es encontrar una posición en el sector en donde crezca como industria teniendo a su favor las fuerzas competitivas, sin duda alguna la innovación es una poderosa herramienta mediante la cual accede a decisiones estratégicas [19].

- Cadena de valor, sirve para evaluar el de posicionamiento una empresa.

En la Figura 2, se muestra la cadena de valor.

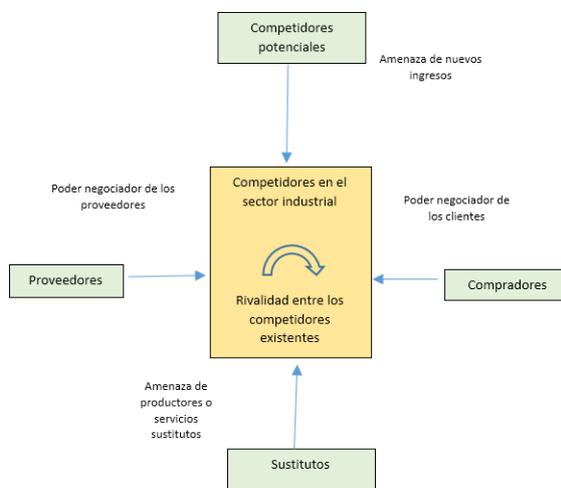


Figura 2. Cadena de Valor [19].

La estrategia del mejor producto se sustenta en la forma clásica de competencia que declara que hay sólo dos formas de ganar: bajos costos o diferenciación en diseño de un producto o servicio. El problema es que la diferenciación es rara vez una fuente de ventaja sostenible, dado que una vez que la estrategia es revelada y se hace conocida, la tecnología a menudo permite una rápida imitación que neutraliza la ventaja competitiva buscada [18] [19].

La cadena de valor es interesante cuando se considera una filosofía holística del diseño. El valor del diseño ha sido reconocido como factor importante dentro de la práctica operaciones industriales y desarrollo de productos. Por ello, se exponen modelos de estrategias empresariales que ayudan con esta problemática.

2.13. El modelo Delta

Uno de los aspectos más destacados del “*Delta Model*” deducido por Arnoldo C. Hax es que brinda asesoramiento sobre cómo elegir el posicionamiento estratégico de su negocio y brindarle las herramientas analíticas de cómo alcanzarlo. Esta es una característica que no está disponible en cualquier otro modelo de negocio.

Sin embargo, como se comienza a crear una estrategia basada en la comprensión de las necesidades individuales de los clientes. Sin duda, el objetivo estratégico fundamental es establecer una relación con el cliente, es decir, atraer, satisfacer y conservar al cliente [20], el modelo Delta ofrece tres opciones diferentes para alcanzar ese objetivo que pueden aplicarse de preferencia con un cliente a la vez:

- En la opción de mejor producto, el cliente se acerca por la superioridad de su oferta de precio - debido a su infraestructura de bajo costo - o por algún otro aspecto relacionado con la funcionalidad del producto, marca o apariencia que lo diferencie de las ofertas de la competencia.
- En la opción de soluciones totales para el cliente, el cliente se siente atraído, debido a que la empresa le está ofreciendo algo más allá del producto en sí, que implica transferir conocimiento y servicios que satisfacen las necesidades apremiantes que tiene el cliente.
- En la opción captura del sistema, la empresa ha alcanzado un dominio tan fuerte en el mercado que el cliente no tiene mejor opción que elegir dicho producto [20].

2.14. El Balanced Scorecard

Según Mario Vogel, “ el BSC ayuda a balancear de una forma integrada y estratégica, el progreso actual y suministra la dirección futura de la empresa, para ayudar a convertir la visión en acción por medio de un conjunto coherente de indicadores, agrupados en 4 diferentes perspectivas, a través de las cuales se puede ver el negocio en su totalidad” [19]. Este modelo se observa en la Figura 3.



Figura 3. Modelo Balanced Scorecard [19].

Es conveniente hacer notar, que el determinante crítico para el éxito de una estrategia de innovación es la integración organizacional con otros elementos externos.

2.15. Gestión estratégica y el perfeccionamiento empresarial

Consiste en el manejo del contexto de cambio, con el objetivo de alcanzar una estrategia que permita mejorar la efectividad a través de transformaciones individuales, grupales y empresariales a fin de aportar en el perfeccionamiento empresarial (Alhama, Francisco, & Rafael, 2001). El cambio organizacional exige cambio individual, y constituye la manera más segura de llevar a cabo las transformaciones organizacionales, no obstante, es la más difícil y la menos empleada.

Tiene implicaciones directas para todos, desde la preparación y la elaboración del diagnóstico, hasta la instrumentación de la estrategia y la evaluación del avance del proceso. En este sentido, es necesario plantear y definir las necesidades de cambios y transformaciones para evitar repetir el mismo modelo. El error y la reiteración del error debe conducir al cambio y no a seguir en lo mismo y con los mismos procedimientos.

El proceso de perfeccionamiento de una empresa es ante todo un proceso originado y sostenido desde dentro, en el cual el macro entorno como sistema más amplio con sus variables económicas, político legales, ambientales, socioculturales y tecnológicas, junto con las exigencias propias de su sector de negocios deben jugar el rol de impulsores del cambio con regulaciones y especificaciones

indispensables, pero no prescribir detalladamente en términos funcionales los procedimientos, medios ni enfoques para hacerlo. Cuando se procede de esta forma, se está reemplazando al sujeto de la transformación, quien queda como mero ejecutor de un cambio diseñado desde fuera del sistema organizacional [21].

La empresa debe desarrollar capacidades propias de perfeccionamiento, siendo su subsistema gerencial el encargado de explorar, diseñar e implementar las vías para hacerlo, a fin de asegurar su sostenibilidad interna y el cumplimiento de su responsabilidad en las dimensiones económica, sociopolítica y ambiental, bajo exigencias críticas mínimas que el entorno ha de establecer.

2.16. Innovación empresarial

Al incrementar la importancia de la innovación como impulsora de cambios económicos y sociales, se dedica cada vez más atención a su naturaleza, el papel que desempeña y sus determinantes. Además, la innovación es un concepto extenso que comprende una amplia gama de actividades y procesos tales como: mercados, actividades empresariales, redes y competencia, pero también las habilidades y organizaciones, la creatividad y la transferencia de conocimientos.

Por otra parte, existen tres canales que posibilitan la innovación y el rendimiento de la productividad:

- I. La decisión de las empresas de invertir en la innovación;
- II. El conocimiento de la función de la producción, en la que esta inversión, además de otros insumos, produce la innovación;
- III. La función del rendimiento de la producción, en la que la innovación, junto con otros insumos, se relaciona con la productividad laboral.

Para una correcta creación y transferencia de conocimiento e innovación es necesario disponer de personal cualificado para ello. Por tanto, el capital humano será uno de los pilares básicos a considerar. Por otro lado, aunque relacionado con lo anterior, resulta relevante disponer de una cultura innovadora adecuada que permita la absorción y transferencia de la innovación, para lo que las TIC constituyen una de las principales herramientas

[21] [22]. Además, el espíritu empresarial existente entre la población de un país determinará la creación de empresas y por tanto la demografía empresarial, que influye sobre el total de innovaciones realizadas.

En este punto resulta crucial el acceso de las empresas a la financiación, así como los beneficios fiscales aplicados a éstas para fomentar la innovación. Otros factores con influencia sobre la demografía empresarial y por tanto sobre el nivel de innovación de un país, son la existencia de mercados competitivos y la flexibilidad de la economía y administración de este. De igual manera, el grado de cooperación intra-empresarial, intra-sectorial y entre centros de generación de conocimiento y empresas, propician una mayor transferencia y difusión del conocimiento, que resulta vital para la innovación al permitir el reparto de costes y riesgos. Por último, el sistema de innovación empresarial debería adecuarse al desarrollo sostenible del medio ambiente [23].

3. Resultados y Discusión

El diseño industrial constituye un instrumento estratégico, en el sentido que proporciona que los productos y servicios sean diferentes a través del proceso de innovación en los productos de una empresa. En el primer caso, el producto es la actividad clave en una empresa industrial que por medio del diseño de productos se planifica y conceptualiza el mismo. En este proceso se dota al producto del significado que va a tener para el usuario o consumidor, incluyendo las funciones, el uso, la forma y construcción.

Es importante mencionar que no todas las empresas visualizan estos beneficios, más bien, consideran que el diseño industrial como estrategia empresarial genera costos no productivos. Otros factores que han promovido o causado esta situación de apatía de estas empresas son la falta de conocimiento acerca del diseño industrial y todas las contribuciones que vienen con ello, también el desconocimiento acerca de las funciones por cada una de las partes que están inmersas en el proceso de diseño industrial; es decir, empresa y diseñador.

Una empresa al integrar el diseño industrial optimiza los recursos de esta, ya que, mejora los recursos físicos de la organización; ejemplos claros

son los productos y envases. Por otro lado, mejora los aspectos de organización y procesos de trabajo; por ejemplo, en los edificios mediante el diseño de interiores con un adecuado reparto de espacios (*Layout*), inciden en la comodidad y buena comunicación tanto de usuarios como trabajadores, y evita los tiempos muertos, lo que finalmente potencializa y eleva el valor de la marca; lo que incide en la comunicación dentro y fuera de la empresa.

En la actualidad se evidencia que una empresa integra el diseño industrial al fabricar productos que no solo satisfacen las necesidades de los consumidores, sino que también, se preocupan y promueven la calidad del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos, llegando a consolidarse exitosos. Otros aspectos en donde se palpa la integración del diseño industrial en la empresa constituyen el valor de la producción, que permite por una parte racionalizar el proceso productivo, y por otra, contar con un análisis adecuado que reduce el número de componentes, las fases del proceso de producción y la división de operaciones productivas, consiguiendo el máximo aprovechamiento de la materia prima. Asimismo, al implementarse la filosofía de economía circular, el diseño industrial, tiene la capacidad de desarrollar nuevos productos empleando tecnología existente y aprovechando los recursos existentes a fin de optimizar la producción en sus distintas etapas.

Es indispensable mencionar que el diseño industrial facilita el comercio de productos, al optimizar y diferenciar la información de la empresa y del producto; otro ejemplo que permite evidenciar la integración del diseño industrial con la gestión estratégica empresarial es el Modelo de *Lean Manufacturing*, que aumenta la calidad y los valores formales de los productos, gracias al valor agregado con el que se logra cada producto para diferenciarse de la competencia, al presentar ventajas funcionales, estéticas y culturales que de una u otra manera generan preferencias en los usuarios.

En el contexto de la empresa, el diseño industrial es una herramienta de gestión enfocada en aumentar la competitividad a través de la inserción de productos nuevos e innovadores, que además de satisfacer las necesidades detectadas en los consumidores, establece la diferencia con una adecuada imagen que responde a las cualidades y características implícitas en la marca y producto que se ofrece

en el mercado. Para evidenciar esta conexión, se muestra el triángulo estratégico entre la empresa, producto, mercado y diseño industrial, que constituye un instrumento de gestión idóneo, a través de su actuación en el producto y la empresa, para posteriormente interconectar sus relaciones con un mercado determinado posibilitando el mayor grado de competitividad de la empresa.

En la Figura 4, se muestra la relación empresa, mercado, producto que permite la competitividad en una empresa.

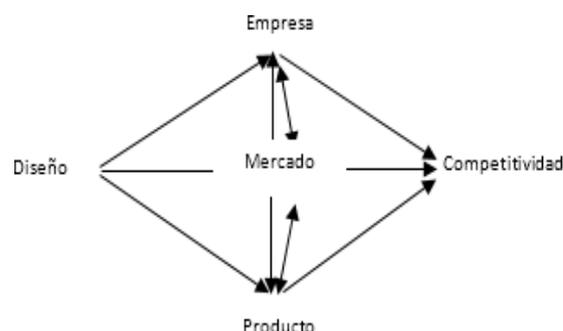


Figura 4. El diseño industrial actúa sobre la relación Empresa – producto – mercado potencializando la competitividad de la empresa [1].

La importancia de la incorporación del diseño en la empresa se ha hecho evidente a partir de los años cincuenta, cuando se ha visto la necesidad de estimular la venta a través de la manipulación del mercado por medio de la diferenciación del producto y la publicidad, aspectos que influyen en la decisión de compra, sin importar el tamaño de la empresa (Lecuona, 2006). A partir de ello, catedráticos, profesionales y empresarios en Europa y Estados Unidos, han indagado en el término y han buscado dar una adecuada integración a los procesos de diseño dentro de la organización. Sin embargo, esta disciplina toma protagonismo en los años noventa, cuando las empresas incorporan al diseño como factor estratégico, que permite involucrar las capacidades proyectuales y creativas, como recurso de innovación y competitividad (Manrique López, 2016). La Tabla 1 resume las múltiples ventajas que proporcionan cada una de las metodologías estudiadas, ya que se convierten en herramientas de gestión estratégica en las empresas, que ayudan a conseguir resultados para colocarlas en un nivel más competitivo.

Tabla 1: Ventajas de las metodologías estudiadas [9].

Metodología	Ventajas
INTI	<ul style="list-style-type: none"> • Brinda soluciones concretas para los problemas que surgen en el diseño y desarrollo completo de productos. • Brinda información para cada una de las fases del proceso de diseño.
Ecodiseño	<ul style="list-style-type: none"> • -Genera productos con el mínimo impacto medioambiental en todo su ciclo de vida, para lo cual requiere un análisis del impacto ambiental del producto con el fin de identificar los procesos, componentes, materiales, etc. que resultan críticos. Implica un plan de acción a futuro en el producto y en la empresa.
QFD	<ul style="list-style-type: none"> • Se focaliza en dar soluciones a las necesidades de los clientes mediante el diseño de productos y servicios, con una previa traducción de la voz del cliente en requerimientos de diseño y parámetros técnicos.
<i>Design Thinking</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Brinda soluciones innovadoras orientadas en el diseño a problemas y necesidades de las personas que son parte fundamental.
Economía Circular	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo económico basado en lo ambiental y social, aparte de generar nuevas oportunidades de mejora. • Máxima reutilización de productos y materias primas con una prolongación en la vida útil de los productos además de la optimización en el uso de los recursos.

Dichas metodologías permiten definir los problemas y necesidades de los clientes (que constituyen parte fundamental de la investigación), para posteriormente convertirlos en oportunidades que ayudan a encontrar soluciones innovadoras y creativas, traducidas en productos y servicios ofertados por las empresas. En tanto que, al hablar de ecodiseño y economía circular, además de satisfacer las necesidades, su objetivo radica en el factor ambiental, ya que buscan minimizar el impacto medioambiental y optimizar los recursos, que sin duda favorecen a las empresas que buscan un mejor desarrollo económico con un mínimo empleo de recursos y perjuicios medioambientales.

Cabe mencionar que la Gestión del Ciclo de Vida de los Productos (*Product Management Lifecycle*)

al aplicarse de forma correcta genera beneficios de sostenibilidad dentro de la economía circular [24]; al emplear esta metodología se obtienen mejores resultados que al aplicar los Sistemas de Servicios de Productos (PSS) como estrategia de los negocios que están encaminados hacia una economía circular. Cabe mencionar que este artículo evidencia que se obtiene una eficacia en los recursos y ahorro de costo a través de prácticas donde se aplique el ciclo de vida, incluyendo temas de economía circular desde el inicio de la vida de la oferta de PSS, de esta manera se mejora el desempeño ambiental y económico de un ente empresarial.

Se ha empleado el Modelo Estratégico Delta, realizando ajustes adecuados para mejorar las ventajas competitivas de una empresa en relación con

otras. En la Figura 5, se observa el modelo planteado con todos los aspectos considerados con el fin de aumentar la competitividad que es clave en una empresa.

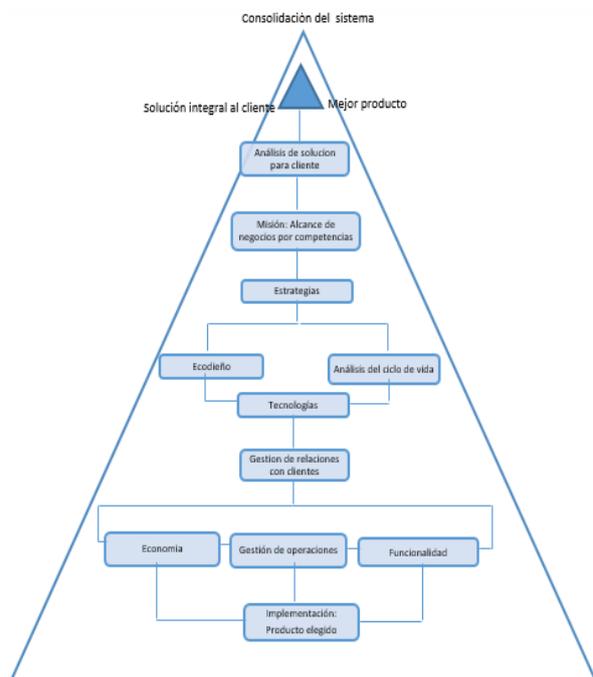


Figura 5. Modelo Delta de estrategia empresarial

4. Conclusiones

La integración del diseño industrial como gestión estratégica de las empresas constituye un modelo de cómo competirá la empresa, sus objetivos y las políticas necesarias para alcanzar sus objetivos a largo plazo. En fin, genera una rentabilidad a nivel económico con la optimización de recursos y procesos; además de la rentabilidad social promoviendo el cuidado ambiental a través de su ética empresarial, acompañada de la calidad de servicios con una buena atención y comunicación.

Las opciones estratégicas y competencias hacen que el modelo Delta sea una herramienta útil para que guíe su pensamiento estratégico. Es decir: la segmentación con el cliente y proposición de valor para el cliente y las competencias existentes y deseadas de una entidad empresarial.

El diseño no es sólo una herramienta que puede utilizarse para diferenciar productos y generar una visión prospectiva del sector empresarial. El diseño es también una función dentro de la estructura

de la empresa que modifica los procesos y la gestión de la innovación. Al vincular el diseño con la ventaja competitiva, proporciona un modelo exploratorio que se puede utilizar de una manera prescriptiva. Cada gerente será capaz de localizar su estrategia de gestión:

- Diseño como posicionamiento diferenciador
- Diseño como posicionamiento coordinador
- Diseño como posicionamiento transformador

Por lo tanto, cada empresa puede optar por dar un valor estratégico al diseño y utilizar las variables identificadas en el estudio para hacer efectivo este proceso en su sistema de evaluación y desempeño.

En función de los objetivos y metas de cada una de las empresas, se elige la metodología más adecuada con la finalidad de generar un distintivo que les permita posicionarse en el mercado. No obstante, la decisión no se limita solo a una de ellas, ya que puede conjugarse más de una, para generar ventajas competitivas dentro de la organización.

Referencias

- [1] Fundación COTEC, Diseño e innovación. La gestión del diseño en la empresa, Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A., 2008.
- [2] I. Buil, E. Martínez y T. Montaner, «Importancia del diseño industrial en la gestión estratégica de la empresa,» *Universia Business Review*, pp. 52-67, 2005.
- [3] B. Borja de Mozota, «Design and competitive edge: A model for design management excellence in European SMEs,» *Design Management Journal*, pp. 88-103, 2003.
- [4] K. Clark y T. Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Boston: Harvard Business School Press, 1991.
- [5] F. Giraldo y E. Orozco, «Métodos deductivo e inductivo. Obtenido,» 11 Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://proyectogrado.wordpress.com/2011/03/11/metodos-deductivo-e-inductivo/>.

- [6] D. Becker, *Color Trends and Selection for Product Design*, Oxford: Elsevier Inc., 2016.
- [7] B. Hernández, «Bauhaus la escuela que unió arte y técnica,» Junio 2004. [En línea]. Available: <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-1676-bauhaus-escuela-unio-arte-tecnica.aspx>.
- [8] F. D'Alessio Ipinza, *Administración y dirección de la producción : enfoque estratégico de calidad*, Bogotá: Pearson Educación Ltda, 2002.
- [9] M. d. R. Rivera Sanclemente, *La evolución de las estrategias de marketing en el entorno digital: implicaciones jurídicas* (Tesis Doctoral), Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2015.
- [10] M. Abdullah y R. Marshall, «A research overview of industrial design framework for modular product design,» *Proceeding of the Design*, pp. 95-104, 2010.
- [11] N. Cross, *Metodos de Diseño, Estrategias para el diseño de productos*, México D. F.: Editorial Limusa, 2002.
- [12] J. C. Jones, *Design Methods*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [13] S. Liu y I. M. Boyle, «Engineering design: perspectives, challenges, and recent advances,» *Journal of Engineering Design*, pp. 7-19, 2009.
- [14] INTI, «Proceso de Diseño - Fases para el desarrollo de productos,» *Boletín Informativo N° 141*, Buenos Aires, 2009.
- [15] L. E. Macías Martín y F. A. Bribiescas Silva, «Las competencias del diseño industrial en el ambito manufacturero en Ciudad Juarez.,» *Nósis*, pp. 17-41, 2011.
- [16] G. Rodríguez, *Manual de diseño industrial*, México: Ediciones G. Gili, S.A., 1983.
- [17] W. Anthony, *Study Guide for Human Resources Management*, Cram101, 2013.
- [18] M. E. Porter, *Estrategia competitiva*, México: CECSA, 1982.
- [19] M. Aguilar Fernandez, «Los modelos mas populares de Estrategia empresarial,» *UPIICSA XV*, p. 6, 2007.
- [20] A. C. Hax y D. L. Wilde, *El modelo delta. Un nuevo marco estratégico*, Dublin: Senate Hall Academic Publishing, 2003.
- [21] H. Blanco Rosales, «Hacia el perfeccionamiento empresarial: un enfoque gerencial,» CEEC, UH, La Habana, 2011.
- [22] OCDE, «Innovacion en las empresas una perspectiva microeconomica,» OCDE, París, 2012.
- [23] N. Zozaya, «La innovacion empresarial en España,» Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, 2005.
- [24] T. T. Sousa-Zomer, L. Magalhães, E. Zancul y P. A. Cauchick-Miguel, «Lifecycle Management of Product-service Systems: A Preliminary Investigation of a White Goods Manufacturer,» *Procedia CIRP*, pp. 31-36, 2017.

Diseño Industrial en el Ecuador: Importancia, Historia y Oportunidades

Industrial Design in Ecuador: Importance, History and Opportunities

Guanoluisa R.¹; Bravo. D.²

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática. Quito, Ecuador
e-mail: rjguanoluisa@uce.edu.ec

² Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.
Camí de Vera. Valencia, España.
e-mail: delydis@gmail.com

Información del artículo

Recibido: febrero 2020

Aceptado: marzo 2020

RESUMEN

El presente artículo reseña y estructura el inicio del Diseño Industrial en el Ecuador, presentando una evolución del mismo dentro de los ejes académicos, industriales y económicos. Exhortando a los distintos agentes del Diseño Industrial para la generación de delimitantes históricas y objetivas. En el desarrollo de este artículo, se denotará la importancia de la incorporación de las competencias del Diseño Industrial dentro de los factores productivos, de desarrollo de innovación y valor agregado dentro del mercado ecuatoriano.

Palabras clave: *Diseño Industrial, Historia, Factores Productivos, Competencias.*

ABSTRACT

The present paper reviews and structure the beginning of Industrial Design in Ecuador, presenting its evolution involving academic, industrial and economic axes. Exhorting to the different agents of Industrial Design to generate a historic and objective delimitation. In the development of this paper, the denotation of the importance of the incorporation of the competences of Industrial Design within the productive factors, the development of the innovation, and the added value in the Ecuador market are been pointed out.

Keywords: *Industrial Design, History, Productive Factors, Competencies.*

1. Introducción

La concepción y creación de objetos se remonta a la aparición del ser humano, como método para la supervivencia, según el contexto específico en el que se ha desarrollado. El ser humano ha sido capaz de crear herramientas e utilitarios adecuadas que faciliten su adaptación al medio. Esta concepción bajo necesidades y contexto específicos representan la actividad de diseño.

“El origen del concepto de Diseño Industrial, viene con la Revolución Industrial que tuvo lugar en Inglaterra a mediados del S.XVIII” [1]. La revolución industrial permitió la incorporación de maquinaria en el proceso de manufactura de productos. “Previamente a esta revolución, el diseño y la producción estaban centrados en el artesano, quien creaba desde el principio hasta el fin el producto” [2]. Aunque la conceptualización del término diseño industrial es presentado tras la revolución industrial. “La disciplina como tal nace a finales del S.XIX con el movimiento británico Arts and Crafts que en realidad cuestionaba y criticaba la fabricación industrializada y la pobreza de la producción de esos objetos cotidianos de la sociedad” [1]. A los esfuerzos del movimiento Arts and Crafts se suman la conceptualización de la disciplina mediante la escuela de arquitectura y diseño alemana Bauhaus a la que se le otorgan objetivos de “suprimir las barreras entre el arte, la artesanía y la industria y poner en común estas actividades al servicio de la construcción del futuro; educar por el arte, la acción y el trabajo; hacer del trabajo una herramienta para adquirir y cultivar conocimientos tanto intelectuales como emocionales [3]”.

En Latinoamérica, “es posible percatarse de que ha sido una disciplina importada, ya que los primeros profesionales vinieron de Europa. Estas personas trajeron un quehacer fuertemente influenciado por la experiencia Bauhaus, la cual intentaron aplicar a nuestro proceso de industrialización tan peculiar. [4]”

Pero tanto la historia del diseño como específicamente el diseño industrial en Latinoamérica presentan carencias de una estructuración específica e objetiva. “Se han comenzado a publicar historias locales con sólida y abundante documentación primaria (principalmente en Brasil, Chile y México)” [5].

Dentro del desarrollo ecuatoriano de esta actividad, la falta de delimitación y acciones específicas dentro de la disciplina generan una interacción errónea dentro del entendimiento de las actividades del diseño industrial en sus campos de acción.

La generación errónea del entendimiento y reconocimiento del diseño industrial frena el desarrollo del mismo. A el diseño industrial se le atribuye el embellecimiento de objetos. Es decir, la pre-concepción del diseñador industrial es la de mejorar las atribuciones superficiales de los objetos sin considerar su desarrollo proyectual. Lo que difiere de la concepción de la disciplina “Esta nueva actividad profesional el Diseño Industrial, si bien está enmarcada por la estética, no pertenece al campo del arte, sino de la tecnología, su actividad no consiste (como sucedía antes) en embellecer los productos agregándoles ornamentos que nada tienen que ver con su funcionalidad [3]”.

Por lo cual, la presente investigación busca mitigar el desconocimiento abordando estos nexos bajo tres ámbitos específicos.

Investigar y establecer conceptos claros del Diseño Industrial y sus campos de acción en el ejercicio profesional.

La historia del diseño industrial ecuatoriano desde la perspectiva académica, política e industria; así, como sus mayores exponentes dentro de las empresas público/privadas.

Análisis del posible impacto económico del nexo entre Diseño Industrial y el desarrollo productivo ecuatoriano.

Estos ejes investigativos tienen la intención de dilucidar en los profesionales del Diseño Industrial tanto como en las empresas su posición frente a los retos de ideación, innovación y producción.

2. Metodología

Basados en el propósito central de la investigación de proporcionar un levantamiento histórico del Diseño Industrial en el Ecuador. El desarrollo de la presente investigación es de carácter cualitativa debido a su proceso inductivo, interpretativo e iterativo y recurrente persiguiendo los objetivos de presentar una visión detallada de la historia del D.I. en el Ecuador ayudando a comprender las cir-

cunstancias específicas de la disciplina en relación a su entorno [6].

Para el inicio de la investigación se realizó una revisión literaria de fuentes primarias y secundarias, para determinar el hilo cronológico a seguir.

Sujetos: Dentro de la investigación los sujetos son los agentes partícipes de los ejes principales de la investigación dentro de la academia se determinó Universidades e Institutos de formación profesional que han determinado la formalización del diseño industrial en orden cronológico y la influencias por las cuales fueron creadas, Industrias que involucraron o involucran planes de diseño industrial dentro del desarrollo productivo de sí mismas y Principales exponentes del diseño industrial que han fomentado la creación de nuevos productos dentro de las fibras nacionales e internacionales de diseño.

Técnicas e Instrumento: El desarrollo de la investigación es una recolección y levantamiento de información mediante técnicas de observación, entrevistas, inmersión en el ambiente y análisis de datos.

Es así, que la investigación establecerá un primer acercamiento de los hechos que han permitido un crecimiento del diseño industrial tanto como los eventos que presentaron un retraso del crecimiento de la disciplina dentro del contexto territorial ecuatoriano.

2.1. Definición de Diseño Industrial

El diseño Industrial de acuerdo a la definición de la Organización Mundial del diseño (WDO, por sus siglas en inglés):

“Un proceso estratégico de resolución de problemas que impulsa la innovación, desarrolla el éxito comercial y conduce a una mejor calidad de vida a través de productos, sistemas, servicios y experiencias innovadoras.” [7].

Este concepto reúne de manera acertada la manera de actuar del diseño industrial delimitando su amplio campo de acción.

Tomás Maldonado (1977) señalaba que “el diseño industrial es una actividad proyectual que consiste en determinar las prioridades formales de los objetos producidos industrialmente” [8].

Este concepto establecido por Tomas Maldonado discierne las conjeturas del diseño y su aplicación como uso ornamental y sin valor, evidenciando la amplitud del diseño industrial en un contexto de creación proyectual y adaptación a la Industria.

Insertando las definiciones del diseño industrial se debe desarrollar una profundización de las actividades que se le atribuyen al diseñador industrial.

“El Diseñador Industrial, al realizar el diseño, parte del análisis:

- De los requerimientos y las exigencias sociales y económicas;
- De la función y de lo que debe expresar la forma del producto;
- Del hombre como usuario;
- De los materiales más idóneos;
- De las técnicas constructivas más razonables; etc.” [3].

2.2. Campos de acción del Diseño Industrial

De acuerdo a la definición y a la naturaleza del diseño industrial sus posibilidades son amplias debido a la interdisciplinaridad. Para ejemplificar la amplitud de los campos de acción se toma como referencia el de Diseño Industrial de Rodríguez (2000), alineados en la *Tabla 1* Campos de acción que abarca la profesión de Diseño Industrial donde se evidencian algunos de los campos donde se desenvuelve el diseñador industrial.

Tabla 1. Campos de acción que abarca la profesión de Diseño Industrial [9].

Campos de acción que abarca la profesión de Diseño Industrial.	
Vivienda, participando en el diseño de:	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos prefabricados para la construcción. • Mobiliario en general • Línea blanca • Aparatos electrodomésticos • Sistemas de alumbrado, calefacción, refrigeración, cocción y Sanitarios • Elementos para la recreación (juguetes).
Servicios públicos participando en el diseño de :	<ul style="list-style-type: none"> • Mobiliario urbano • Equipos de limpieza Dispositivos para el mejoramiento ambiental. • Elementos para la recreación y esparcimiento • Sistemas de rescate y auxilio. • Medios de transporte • Sistemas masivos de comunicación • Sistemas de inhumaciones.
Educación participando en el diseño de:	<ul style="list-style-type: none"> • Material didáctico • Mobiliario • Instrumental para laboratorios y talleres. • Elementos prefabricados para la construcción de instituciones para la enseñanza.
Energía, participando en el diseño de:	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de captación. (solares, eólicos). • Dispositivos de extracción (petróleo). • Dispositivos de transformación • Instalaciones en general.
Salud, participando en el diseño de: Instrumental médico, Equipo médico.	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumental médico. • Equipo médico. • Mobiliario médico, Medios de transporte, Envase empaque y almacenamiento • Aparatos de rehabilitación.

Campos de acción que abarca la profesión de Diseño Industrial.

Alimentación (agricultura, ganadería, pesca) participando en el diseño de:

- Utensilios, herramientas y máquinas para las distintas faenas laborales.
- Sistemas de almacenamiento y conservación (Envase, empaque y embalaje).
- Medios de transportación.
- Sistemas de riego.

Industrias (de procesamiento de alimentos y elaboración de Bebidas; tabacaleras; textiles, del vestido y del cuero; de la madera y sus Productos; del Papel y sus productos; impresoras y editoriales; químicas, petroquímicas y carboneras; metalúrgicas básicas y sus productos, de maquinaria y equipo), participando en el diseño de:

- Sistemas de protección
- Utensilios, herramientas, máquinas y autómatas
- Envase, empaque, embalaje
- Medios de transportación
- Sistemas de almacenamiento y conservación

Industria automotriz, participando en el diseño de:

- Vestiduras e interiores Carrocerías

Explotación forestal, participando en el diseño de:

- Utensilios, herramientas y máquinas.
- Sistemas de transformación o maquinado
- Medios de transportación.

2.3. Primeras huellas del Diseño Industrial en el Ecuador

En Ecuador, el inicio del diseño industrial es difuso y poco delimitado, las aproximaciones que se han generado sobre su historia involucran a las distintas aristas del diseño, las artes y oficios. Por lo cual, la primera aproximación surge con el Panama Hat, un sombrero a base de paja toquilla planta endémica ecuatoriana con nombre científico “*carludovica palmata*”, el producto toma su nombre debido a que:

“Desde Panamá el sombrero se internacionalizó y la gente empezó a denominarlo ‘Panama Hat’, sin saber que el sombrero era realmente ecuatoriano” [10]

Kleyder Pachay, presidente de la Unión de Tejedores de Sombrero de Paja Toquilla de Montecristi, quien sostiene que se remonta a la visita del entonces presidente de EE.UU. Theodore Roosevelt a Panamá, cuando fue a supervisar la obra del canal, en 1906 “Las autoridades optaron por regalar un sombrero a todos los invitados de este magno evento” [11]

De acuerdo a el Ministerio del Turismo Ecuatoriano el origen data de 1630 entre la combinación de esta materia prima y basado en los modelos de sombrero español. Tomando una fuerza productiva en 1854 donde la exportación de sombreros de paja toquilla superó al cacao; hacia 1863 se exportó desde el Puerto de Guayaquil 500.000 sombreros [12]. Aunque la producción de este sombrero es manual, su diseño y producción es considerada como el inicio de diseño de productos en el Ecuador.



Figura 1. Retrato de Roosevelt de 1903, tres años antes de su viaje a Panamá [13].



Figura 2. Artesanos tejiendo sombreros de paja toquilla [14].

Se considera como una antesala hacia el desarrollo del diseño industrial, debido a sus características de producción en masa, proceso específico y controlado y al desarrollo de modelos y de patrones.

Un gran referente del diseño de mobiliario dentro del territorio ecuatoriano es la empresa Artículos de Acero, S.A. (ATU). “Fundada en 1940 por Hans Rothschild como, The Rothschild Metal Works con la fabricación de recipientes de acero para lácteos, en 1944, ATU se especializa en muebles de oficina a nivel nacional y comienza a exportar en el año de 1992” [15]. El contexto histórico en el que se

desarrolla ATU es bajo un auge de explotación de campos petroleros. Para resolver la gran demanda de equipamiento de oficinas debido a la migración de la población de pueblos a las ciudades luego de la bonanza económica que las explotaciones petroleras proporcionaron. [5].

“ATU es una empresa emblemática ecuatoriana que, desde su fundación, se convierte en líder en el segmento de mobiliario de oficina y modulares por su diseño y calidad reconocida en el mercado nacional e internacional. Su capacidad instalada de fábrica en el Ecuador, le permite una producción flexible, eficiente y de gran volumen, otorgando una garantía inigualable en el mercado” [15].

Los Hitos de la empresa recopilados por el Grupo Ekos se presentan en las siguientes imágenes:



1940

Se funda The Rothschild Metal Works por Hans Rothschild, con la fabricación de recipientes de acero para lácteos.

1944

ATU se especializa en la fabricación de muebles de oficina a nivel nacional, siendo los primeros en el Ecuador.

Figura 3 Hitos de la marca ATU [15].



1992

Se inician las operaciones de exportación, llegando a Estados Unidos., Colombia, Bolivia, Costa Rica, Panamá, Perú, Venezuela y Chile.

2017

Las marcas ATU y Hogar 2000 se fusionan con la adquisición de las empresas Muepramodul y Hogar 2000 por parte de ATU.

Figura 4. Hitos de la empresa ATU (2) [15].

Aunque ATU poseía una gran parte del mercado de mobiliario de oficinas y era considerada como una de las empresas más estables en términos económicos. El 26 de enero de 2018 mediante un cartel en su puerta de ingreso anunciaba su quiebra [12]. Posteriormente, el 14 de marzo de 2019, ATU fue declarada en disolución por la Superintendencia de Compañías [13]. Después del cierre definitivo de ATU su presencia dentro de la web y archivos son de difícil acceso por lo cual este artículo presenta solo algunas de las obras de ATU recopilados de catálogos y entrevistas. A pesar, de su gran importancia y trascendencia dentro del diseño industrial ecuatoriano.

Escritorios Ejecutivos Chieti

La concepción Chieti combina diferentes materiales en su estructura y tableros de madera en contrastes sobrios y sutiles. Chieti es un elemento decorativo que llega a ser una atractiva tipología mobiliaria, sencilla y elegante [18].



Figura 5. Escritorios Ejecutivos Chieti [18].

Salas de Espera y Lounges Tandem

Una gran apuesta en el equipamiento de espacios en áreas de espera, inspiradas en formas curvas y estudios de diseño ergonómico para mejorar el confort de los usuarios [18]



Figura 6. Salas de Espera y lounges Tandem [19].

Archivación Cabinet

Elementos de archivo - almacenaje que se adaptan a cualquier configuración del espacio, ofreciendo sistemas para diferentes formas de archivar y guardar.



Figura 7. Archivación Cabinet [20].



Figura 8. Counter de Showroom ATU [21].

El desarrollo de productos industriales continúa en el Ecuador con Pica Plásticos Industriales C.A quienes inicia sus actividades el 1 de septiembre de 1961, en la ciudad de Guayaquil. Dos máquinas inyectoras y seis obreros, elaboraron el primer producto una “Cubeta de Hielo”. En 1965 Se produce el crecimiento más agresivo de la compañía, PICA consolida la primera gran industria de calzado de PVC en el país, con sus botas 7 VIDAS y su marca de calzado KIT [22].

Estos productos enfocados en la realidad contextual del Ecuador de la época promulgaron el entendimiento de las necesidades de un pueblo mayoritariamente agrícola y obrero. Las botas “7 vidas” cuyo nombre nace de la analogía que hizo un cliente cuando se le solicitó prueba de producto antes de su lanzamiento, quien, en alusión a la creencia sobre la casi inmortalidad de los gatos,

calificó así a la bota PICA y su marca de calzado KIT calzado escolar, deportivo y casual, que combina lona y suela de PVC, garantizando así una mayor durabilidad y resistencia a los usuarios, a la vez que permite el desarrollo de diseños variados y novedosos [23]. Luego en 1975, PICA apuesta por una nueva línea de negocio, dentro de la categoría de juguetes se fabrican los primeros Ciccio Bellos. En 1986 PICA se ratifica como líder en el mercado, esta vez con Bora Bora en la categoría sandalias, en donde su modelo insignia es hasta hoy el producto de mayor venta nacional “Beach Multi” [22]. Estos productos de dos campos distintos como la juguetería y el calzado calaron dentro de la percepción del consumidor ecuatoriano, creando un conocimiento intrínseco de la marca dentro del consumidor a partir de estos productos. Para 1999 con una trayectoria de varios años en Juguetes, PICA lanza hacia finales de la década una muñeca que ganó la preferencia del consumidor inmediatamente: Travelina, quien es hoy la muñeca con mayor venta histórica en él [22]. El desarrollo de esta muñeca, aportó al desarrollo como marca, siendo al uno de los referentes de una generación.



Figura 9. Cubeta de Hielos [22].



Figura 10. Botas PVC (7 vidas) [22].



Figura 11. Coci Bello. [22].



Figura 12. Zapatillas “Beach Multi” [22].



Figura 13. Muñeca travelina [22]

La empresa Varma Carrocerías (1964) de acuerdo a su página oficial realizó el furgón de Molinos Poulter, como primer trabajo, dicha carrocería soportó carga por un espacio de tiempo de 30 años y desde enero de 1970 con una producción de hasta 30 carrocerías al mes [24]. El desarrollo de carrocería comenzó a fortalecer el desarrollo industrial dentro del Ecuador. Varma bajo el eslogan ‘A la vanguardia de las carrocerías’ la inversión, el diseño y la capacitación de la mano de obra son los sinónimos de calidad y los pilares de esta industria carrocera [25]. Aunque el desarrollo dentro del diseño de transportes y automóviles en Ecuador no presentan un factor de diferenciación adecuado. Varma ha logrado generar el involucramiento del diseño dentro del desarrollo de carrocerías. En la misma revista se da énfasis a el último de sus diseños el VM6. Denotando que el diseño aerodinámico y el confort permitieron competir con otras firmas carroceras en el mercado. En la actualidad es uno de diseños con más acogida por los transportistas de Loja, Guayaquil, Cuenca y otras ciudades [25].

En 1972 la época del “boom petrolero” y bajo el gobierno el Gral. Guillermo Rodríguez Lara, en Ecuador, comienza con la fabricación de esta camioneta llamada Aymesas Andino o como era popularmente conocido Andino [26].

El Andino apareció como un proyecto de Aymesas, bajo el diseño de Carlos Almeida, quien entonces trabajaba como asistente del departamento de ingeniería de dicha compañía. Se trató de una camioneta simple, con plataforma Bedford y motor Vauxhall de 1.4 litros [27].

El desarrollo de este producto no goza de una aceptación adecuada dentro del mercado ecuatoriano sobre todo por la competencia generada por los automóviles extranjeros.

De acuerdo a los datos históricos presentados por Salazar, la empresa Aymesas presento dos diseños del auto andino: El primero era uno tipo jeep, con motor 1.2 litros y opciones de puertas de vinilo y puertas de metal con ventanas corredizas. Mientras que el segundo modelo era el conocido 1.4 litros con mejores acabados y opción pick up [27]. Este automóvil es el mayor intento del cambio de un Ecuador ensamblador a un país que involucra el diseño y la ingeniería para la creación de autos adaptados a

las necesidades locales. En 2017, bajo el nombre de ‘Andino Bacán’. Boris Mantilla, un diseñador industrial ecuatoriano especializado en Milán, propuso como tema de taller para Cromía un encuentro internacional de Diseño que se celebra en el Ecuador desde el año 2013 [28] el diseño del ‘Nuevo Andino’. Para el diario El telégrafo Mantilla manifestó que considera que si hay un sobreviviente del Andino es la tricimoto. “Es lo más parecido a un Andino. Es artesanal, no requiere de mucha tecnología, tiene elementos de fuerza, pero así mismo es de baja seguridad, muy peligroso, aunque los costos compensan esos defectos que lo trasladan solo a la periferia” [29]. A pesar de esta iniciativa en la actualidad, no se registran datos que puedan afirmar que el re diseño de este modelo este cerca de salir al mercado ecuatoriano.



Figura 14. Auto Andino Modelo 1. [27].



Figura 15 Auto andino modelo 2 [30].

Durante el mismo año de la creación del auto andino se funda Indurama en Cuenca (1972) comenzando con el ensamble de refrigeradores para luego dedicarse dedicándose a la fabricación de cocinetas de mesa, ollas enlozadas, calderos industriales y bicicletas. En 1982 Indurama inicia la

producción en línea de cocinas y refrigeradores. Se establecen dos ejes para la fabricación de los productos: el diseño y la calidad. Entre 1997 a 2013 la empresa diseñó y produjo las líneas: Arian (1997), Viva (1998), Spazio (2000), Croma (2003), Avant (2006) y Quarzo (2010) [31].

Una de las empresas con un destacable empoderamiento de marca dentro de la industria mobiliaria es Colineal Corp, que comenzó como un pequeño taller en la década de los 40 [32]. Fue consolidada como pequeña empresa por Roberto Maldonado Álava en Cuenca en 1976 comenzó bajo el nombre de “Tienda de muebles”, luego la misma necesidad hace que nazca Colineal, que es una fusión entre muebles coloniales y muebles lineales [33].

Desde sus inicios Colineal se destacó, entre otras cosas, por su atención al detalle, la calidad y el diseño [34]. Colineal aunque no presenta dentro de su creación involucración de profesionales del diseño representa la transición del artesano hacia una capacitación de diseño. Es sin duda, un generador de expansión de la industria de muebles. Colineal ha tomado influencias de ferias de diseño de mobiliario de Milán, París y Carolina del Norte [35]. Introduciendo conceptos del mercado extranjero a propuestas para una realidad nacional.

En el año 1994 Colineal se expande fuera del país y abre su primera tienda en Bogotá, en 2009 se abrió en la ciudad de Panamá, Panamá y desde 2010 está presente en Lima Perú con 3 tiendas [36].

2.3. La formalización del diseño industrial en el Ecuador

Para el desarrollo del siguiente apartado se analizará en orden cronológico la involucración de la académica en la formalización del diseño industrial como carrera dentro de las fibras tecnológicas y de educación superior ecuatorianas. Se tomarán las instituciones que han permitido el desarrollo de la disciplina y que han generado un desarrollo dentro de la institucionalización del diseño industrial.

De acuerdo a la información reposada en los archivos de las universidades ecuatorianas y a la recopilación de datos de SG Zeas Carrillo (2016), la Universidad del Azuay fue la primera que estimuló la enseñanza de las artes y oficios, en Cuenca en los años setenta ofertando las ramas de carpintería, cerámica, joyería y diseño textil como apoyo al trabajo

artesanal. A partir de 1984, La Facultad de Diseño empezó a otorgar los primeros títulos profesionales.

El Diseño Industrial surge en Quito en 1985 con la creación del Instituto Metropolitano de Diseño “la Metro”, esta institución comenzó con la formación de Diseñadores de productos desde 1981. A lo que se sumó en 1994 la formalización la Escuela de Diseño de la PUCE dicha universidad organizó la primera y segunda Bienal Universitaria del Diseño. Dentro del proceso ecuatoriano para la formalización del Diseño Industrial las carreras comenzaron con la influencia de escuelas latinoamericanas como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quienes iniciaron en 1964 con la inserción del diseño industrial dentro de su plan curricular. Citando la información de Montaña los primeros profesores de las escuelas de diseño ecuatoriana fueron colombianos; de donde, surge la similitud curricular de ambos países.

La incorporación del diseño industrial a las redes de carreras ofertadas en el sistema de educación pública ecuatoriana se dio de la mano de la Universidad Central del Ecuador en el año 2005 de acuerdo a los datos reposados en la página web de la universidad. El enfoque de anexar la carrera de diseño industrial a una facultad de ingeniería es la de brindar un soporte técnico y de conocimiento de procesos industriales a los estudiantes.

En 2016 se realizó una reunión de universidades que ofertan diseño industrial “los directores de las carreras de las universidades Central del Ecuador, Azuay y Católica Ambato (PUCESA) decidieron reunirse con el propósito de compartir experiencias académicas y visualizar acciones que permitan difundir a la población en general los aportes profesionales y productivos del diseño industrial” [37].

En 2017 La Escuela Politécnica del Litoral en Guayaquil hizo el lanzamiento durante el primer periodo académico de dicho año de 5 carreras, dentro de las cuales se encontró la licenciatura en diseño de productos [38]. Siendo la última universidad del sistema público ecuatoriano que anexo una carrera de con directa relación al diseño industrial y siendo la primera del régimen costa.

En 2015, se crea la Cámara de Diseño del Ecuador como sociedad civil recibiendo su personería jurídica por parte del Ministerio de Cultura y Patrimonio (CADE, 2017). Esta sociedad representa Diseño

Gráfico, Diseño de Interiores, Diseño de Vestuario y Moda y Diseño Industrial o de Productos.

En el mismo documento la Cámara establece que como representante de los profesionales del sector, ha apoyado al Gobierno en el proceso de Cambio de Matriz Productiva; al Ministerio de Cultura y Patrimonio en el Encuentro de Diseño para la edición de “Cromía”, como parte del Consejo Consultivo en el 2014 y 2015, así como ha aportado y apoyado a leyes como la Ley Orgánica de Cultura, gestionado por el Ministerio al que representa o el Código INGENIOS gestionado desde el IEPI, tanto en la Asamblea Nacional como co-participantes en el foro de Diseño para la Emergencia: Código Abierto para el Pro-Común.

Legislación y Leyes para el diseño industrial

Dentro de la Legislación Ecuatoriana no existen al momento políticas públicas que respalden la actividad proyectual del diseño, o el diseño industrial en específico.

El Ecuador ha presentado mediante la Cámara de Diseño en colaboración con el Ministerio de Cultura y Patrimonio una agenda de desarrollo del diseño que culminara en 2020 donde se plantea “Formular políticas públicas encaminadas a reconocer, insertar y promocionar al diseño como herramienta para incrementar el desarrollo industrial, económico, regional y social, garantizando la participación del Estado, el sector empresarial, la defensoría del consumidor, la academia y los diseñadores”.

La propuesta incluso teniendo el respaldo de un organismo central administrativo no logra generar una vía sólida para la realización de la propuesta.

Al no tener legislación que respalde los diseños industriales, la única manera de protegerlos en un marco jurídico es a través de La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, por sus siglas en inglés) y debido a que Ecuador es contratante del Convenio de París se puede generar una protección internacional por concepto de dibujo y modelos industriales.

Esta organización define en su guía Looking Good desde una perspectiva legal a un modelo o diseño industrial como “An industrial design refers to the ornamental or aesthetic aspects of a producto” [39]. Lo que referencia que el diseño

solo será protegido en cuanto a su ornamentación y aspecto estético.

El Programa Iberoamericano de Propiedad Intelectual y el Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual establecen que en Ecuador la única condición para que un diseño industrial sea protegido es la novedad, es decir, que este se diferencie claramente de un producto de su misma clase o similares [40].

2.4. Diseñadores Industriales Ecuatorianos

2.4.1. Rodney Verdezoto.

Dentro de los diseñadores Industriales con mayor trayectoria e impacto del Ecuador se encuentra Rodney Verdezoto. En una entrevista para Diseño en Ecuador se lo destaca como uno de los diseñadores industriales con más éxito del país. Dentro de lo cual se mencionan diseños como la silla Miró estuvo en la Feria Internacional del Mueble de Milán, diseñó el pabellón del Ecuador en la Feria del Libro en Bogotá y cuenta con más de 1000 proyectos dentro y fuera del país. Ha sido también docente universitario en varias universidades de Quito. En el 2009 fue nombrado director en Ecuador de la Red Latinoamericana de Diseño, cargo en el que se mantuvo hasta el 2013. En el 2012 Rodney fue invitado a participar en la Bienal Interamericana de Diseño [41].



Figura 16. Sofá Excellence 1996 [41].



Figura 17. Silla Miró. 1998. Diseñada en ATU, fue expuesta en la Feria Internacional del Mueble de Milán [41].



Figura 18 Pabellón Ecuatoriano para la Feria del Libro en Bogotá. 2011 [41].

2.4.2. Raúl Guarderas

Este diseñador industrial se definió como “el diseñador anónimo del Ecuador” mentando “Mucha gente usa productos que salieron de mi mente o fueron concebidos a través de mi lápiz. He diseñado, sillas, sillones, mobiliario y complementos de amueblamiento producidos por varias empresas de diversos sectores industriales y artesanales locales. He colaborado con empresas metalmeccá-

nicas pesadas, del sector cerámico, industria del sector plástico y pymes, con las que he lanzado al mercado productos fuera de lo convencional. He recibido premios en concursos y publicaciones de mi trabajo en revistas especializadas” [42].

Tal como menta Guarderas para el espacio web, es de los diseñadores industriales con mayor trayectoria y reconocimiento dentro del espacio territorial ecuatoriano.

Sus diseños abarcaron el mercado dentro de la reconocida marca de mobiliario ATU. A su vez, la línea de grifería diseñada para la empresa Edesa se produce hasta la actualidad con grandes réditos para dicha empresa.

Con su propia firma de diseño “MORF” realizó una gran cantidad de proyectos de interiorismo, montajes temporales, diseño de espacios retail y diseño industrial de varios productos, muchos de ellos aún en el mercado [42].

Uno de los campos mayormente explorados dentro del diseño industrial es el interiorismo y el diseño de mobiliario en lo cual Raúl Guarderas ha podido definir una línea adecuada de diseño.

Fue Jefe de Museografía del Museo Interactivo de la Ciencia siendo diseñador además de las exhibiciones permanentes y temporales hasta el año 2011. Desde entonces es consultor independiente y tiene su propio Hotel de Campo en Tambillo llamado “Sierra Alisos” [42].



Figura 19. Silla Dashoa [42].



Figura 20. Sistema Adagio [42].



Figura 21. Vanitorio minimax [42].



Figura 22. Vanitorio Tango [42].

2.4.3. Arsenio García

Nacido en Portoviejo, Ecuador en 1971. Arsenio García Monsalve comienza su vida artística de la mano de su madre la cuencana Mariela. En la adolescencia estudia cerámica en Cuenca, Ecuador y a los 17 años parte a Australia donde completa su iniciación en las artes con dibujo, pintura, escultura. Los siguientes años de su vida transcurren España, en donde estudia diseño gráfico, fotografía y diseño industrial.

Su pasión por el diseño de productos lo llevó a vivir en Estados Unidos en donde a formado parte de prestigiosas firmas de diseño como Herman Miller, Itoki, Omron, Toshiba, Starbucks, OXO International, Coca-Cola, Pepsi, Home Depot, Mc Donald's, Playtex, Hewlett Packard y otras. Su trabajo ha sido mostrado en publicaciones como Vogue Italia, Graphis, Time Magazine, ID Magazine, Innovation, Popular Mechanics, Fast Company, Ottogono, Oprah Magazine, etc [43].

Paralelamente, su amor por el arte ha hecho que continúe produciendo y mostrando sus obras, las que han participado en eventos internacionales de pintura, como en 1994 en Madrid en donde represento a Ecuador o en la Bienal Internacional de Pintura de Cuenca en abril de este año (Imaginario Ecuador, 2007).

Su trabajo ha sido reconocido con honores en el MoMA Design Store Destination NYC 2013, IDSA Gold Award, The Chicago Athenaeum Good Design Award, ID Magazine, etc; y se vende en The MoMA Design Store y en Design Within Reach [43].



Figura 23. Set de Cuchillos para OXO [43].



Figura 24. Regaderas para OXXO [43].



Figura 25. Tazas Ridge [43].



Figura 26. Concepto Laptop para Toshiba [44].

2.4.4. Fernando Echeverría

Fernando Echeverría Ruiz es un diseñador industrial quiteño, conocido por sus originales diseños en calzado y accesorios que ahora reside en Praga. Echeverría estudió Diseño de Productos en la Universidad Católica del Ecuador en Quito, posteriormente continuó con su Masterado en la Academia de Artes, Arquitectura y Diseño en Praga, con una especialidad en Footwear and Fusión Design, decidió quedarse en la República Checa en el 2010 y ahí creó su propia marca en el año 2014.

En Praga también se formó en el arte de la elaboración a mano de zapatos con maestros como Martín Lawart. Actualmente forma parte de la Bottega Smetana, un grupo de diseñadores locales con talleres en el centro de esa hermosa ciudad del Centro de Europa [45]. Este diseñador ecuatoriano presenta diseños de calzado y accesorios que han logrado abarcar el mercado global dentro de ámbitos de moda e indumentaria.



Figura 27. Zapatos Natura [46].

Este Diseñador Industrial establece que “Mi sello de identidad es ofrecer zapatos y accesorios que rescatan y usan técnicas tradicionales de la zapatería, pero que a la vez son diferentes y divertidos, buscando siempre la innovación estética y técnica pero no olvidando un principio: tener algo único que perdure. Por ejemplo, mis zapatos al ser de suela y al tener tacones de suela, después de un tiempo de uso es posible cambiarlos en cualquier zapatería del mundo, y volverán a estar como nue-

vos, de igual manera la suela de mis zapatos es cosida a mano con el cuerpo del zapato lo que les da una vida larga” [47].



Figura 28. Zapatos Kubista [48].

La presentación de estos Diseñadores Industriales ecuatorianos tanto como sus proyectos destacados y trayectoria establece el alcance del diseño industrial como disciplina y su amplio campo de acción.

2.5. Oportunidades del diseño en el Ecuador.

A pesar de los intentos gubernamentales por un cambio dentro de la matriz productiva ecuatoriana de migrar de un estado exportador de productos de consumo primario a productos con valor agregado. No se ha podido lograr un posicionamiento de los productos o servicios ecuatorianos en el mercado nacional e internacional.

“A través de diseño se logra concretar una forma de comunicación adecuada para comunicar el valor intrínseco del producto a los consumidores, el mismo que incide en la percepción de los consumidores. Se considera necesario enfatizar la falta de referencias al Diseño Industrial como un estimulante de la productividad para la industria ecuatoriana por parte de las políticas reguladoras de calidad, dejando así de lado uno de los prime-

ros pasos para construir un producto de calidad, que no solo compita por el cumplimiento de especificaciones, sino también por imagen de marca, y conexión con el cliente” [49].

El anexo del diseño industrial en las entidades públicas y privadas es de vital importancia para un desarrollo económico y productivo adecuado. Pero dicho anexo debe estar regulado bajo regulaciones que permitan una correcta relación entre las partes.

El ocupar el diseño industrial como herramienta de desarrollo económico parece un poco osado, pero su relación está más cercana de lo que parece.

“El relacionar estos dos elementos es bastante simple, la economía y el diseño buscan solucionar problemas de espacio, tiempo, recursos, etc. Y todos relacionados y pensados para el ser humano en muchos casos. Se ayudan de otras ciencias y disciplinas para resolver problemas y no convertirse en problemas futuros, son cambiantes porque la sociedad es cambiante, buscan el bienestar de todos, estudian a sus públicos, infieren en el diario vivir [50].

Es así que dentro del desarrollo económico ecuatoriano el Diseño Industrial tiene una gran posibilidad de posicionamiento y desarrollo para un reconocimiento de productos ecuatorianos a nivel nacional e internacional.

Barbeito, Guillén y Martínez citan en su texto a Manuel Ibáñez Gimeno (2000) que plantea:

“Centrándonos en los factores internos, tenemos que uno de los factores genéricos es el diseño de los productos que tiene un impacto directo sobre la ventaja en diferenciación, aunque puede tenerlo también sobre los costes, ya que, el diseño del producto pensando en su fabricación, permite incrementar la productividad de la empresa al facilitar la fabricación del nuevo producto disminuyendo el número de piezas y el coste de materiales, la fabricación y el montaje, es decir, aumentado la productividad y reduciendo los costes de fabricación sin por ello disminuir los estándares de calidad ni olvidar la orientación al mercado del nuevo producto ni la aplicación de las nuevas técnicas de fabricación como son la ingeniería simultánea o el análisis de valor” [51]

Para contextualizar estas bases teóricas del aporte del diseño dentro de las fibras económicas de un

estado. Se realiza la reseña de los resultados obtenidos por otros países que han involucrado el diseño dentro como factor económico. Uno de los cuales es el Design Council de Reino Unido que en su publicación del *Design Economy Report* (2016) y de acuerdo a una publicación de la Organización Diseño Publico se recoge como datos destacados del reporte lo siguiente:

- El diseño creó £71.7 billones en valor agregado bruto de UK (VAB, medición del valor económico generado por productos y servicios de un área específica). Equivalente al 7.2% del total.
- Entre los años 2009 – 2013 el VAB de la economía del diseño creció a una tasa mayor que el promedio de UK.
- En el 2013, las exportaciones que tuvieron un importante componente de diseño generaron £34 billones, constituyendo el 7.3% del total de las exportaciones de UK en dicho año. Esto ubica a UK quinto en el ranking del valor total de exportaciones generado por el diseño, detrás de Hong Kong, Suiza, Italia y Alemania.
- Personas que aplican conocimientos de diseño son 41% más productivos que el promedio.
- El diseño creó tres veces más trabajo que el promedio de las industrias, consolidando 1.6 millones de empleos.
- Los empleos creados se distribuyen con un tercio en empresas dedicadas al diseño, y el resto distribuido en distintos sectores [52].

A los que se le suman casos como Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina que reúne datos de un 71% de la base de firmas con actividades de diseño donde se presentan los siguientes datos:

IMPACTO	ELEVADO*	MEDIO A REDUCIDO*	NULO*
Incremento de la facturación	55%	36%	9%
Aumento de las exportaciones	31%	30%	39%
Apertura de nuevos mercados	43%	34%	22%
Rentabilidad	31%	43%	26%
Productividad	32%	33%	35%
Disminución de costos	18%	38%	34%

Figura 29. Impacto económico de las actividades de diseño en Argentina [53].

Los datos recopilados en la Figura 29. Impacto económico de las actividades de diseño en Argentina evidencia el impacto del diseño en el incremento de la economía argentina, soportando así la importancia de la generación de los nexos del diseño y la industria.

Es así, que la inclusión del diseño industrial en mercado ecuatoriano de manera integrada tiene fuerte sustento para permitir el desarrollo económico a través de productos o servicios con alto valor agregado que aumentarían los réditos de las exportaciones y dinamizarían el mercado local.

3. Conclusiones

El diseño industrial representa la oportunidad del involucramiento de una gestión y un proceso adecuado para el lanzamiento de productos y/o servicios ecuatorianos exitosos en un mercado volátil.

El diseño industrial es una disciplina que, por las características de su naturaleza dentro de sus campos de acción, brinda respaldo dentro de la realización de objetivos importantes dentro de campos sensibles como la sostenibilidad. Siendo un ente que ofrece lineamientos claros y se relaciona con la solución de intereses sociales, culturales y políticos.

El diseño industrial en el Ecuador promete ser un cambio significativo dentro del desarrollo productivo del país, debido al enfoque de generación de ideas con alto valor agregado.

La existencia de referentes mundiales que al involucrar el diseño dentro del sistema productivo y empresarial han generado casos de éxitos con réditos económicos estimula la necesidad de mayor aporte en la definición de ejes y lineamientos claros de como el diseño con énfasis en el diseño industrial pueden penetrar las fibras económicas ecuatorianas.

Referencias

- [1] J. V. d. Mercado, «El origen del diseño industrial,» 23 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://universidadanahuac-sur.wordpress.com/2013/01/23/el-origen-del-diseno-industrial/>.

- [2] Grupo Carman, «Diseño Insutrial: historia y evolución,» 19 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://grupocarman.com/blog/2014/03/19/disenio-indus-trial-historia-y-evolucion/>.
- [3] A. Gay y L. Samar, El diseño industrial en la historia, Córdoba: EDICIONES teC, 2007.
- [4] A. Cárdenas, «Impecable,» 28 Diciembre 2007. [En línea]. Available: <http://impecable.blogspot.com/2007/12/historia-del-diseo-industrial-en.html>.
- [5] S. Fernandez y G. Bonsepie, Historia del diseño en América Latina y el Caribe, Sao Paulo: Blücher, 2008.
- [6] L. Álvarez, S. Camacho, G. Maldonado, C. Trejo, A. Olguín y M. Pérez, «La investigación cualitativa,» Enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e2.html>.
- [7] UNIVERSIDAD DE BOGOTA JORGE TADEO LOZANO, «¿QUÉ ES EL DISEÑO INDUSTRIAL? SEGÚN EL WDO (WORLD DESIGN ORGANIZATION),» UTADEO, 30 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.utadeo.edu.co/es/nuestra-produccion/observatorio-dise-no-de-producto/219671/que-es-el-dise-no-industrial-segun-el-wdo-world-design-organization>.
- [8] E. Vega, «Diseño para el consumo,» 2009. [En línea]. Available: <http://paperback.infolio.es/articulos/vega/consumer.pdf>.
- [9] G. Rodriguez, «Manual de Diseño Industrial,» 25 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/16ManualDI.pdf>.
- [10] S. Llinguin, «La experiencia turístico-cultural de los visitantes en los museos del sombrero de paja toquilla de Cuenca-Ecuador, 2017-2018,» 26 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32914/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf%20TUR%20275.pdf>.
- [11] E. Romero, «El verdadero origen de los tradicionales sombreros ‘Panama Hat’,» 9 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://actualidad.rt.com/actualidad/265082-sombrero-panama-hecho-ecuador>.
- [12] Ministerio de Turismo, «Sombrero de paja toquilla es Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad,» 04 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.turismo.gob.ec/sombrero-de-paja-toquilla-es-patrimonio-cultural-inmaterial-de-la-humanidad/>.
- [13] V. Arrocha, «Historia del sombrero Panamá que popularizo Theodoro Roosevelt,» El Mundo, 2015 Marzo 25. [En línea]. Available: <https://www.elmundo.es/tendencias/2015/03/25/55116a13e2704ee9178b456d.html>.
- [14] L. Fajardo, «Paja Toquilla,» La Piedra Chura, 2012 Marzo 25. [En línea]. Available: <http://lapiedrachura11.blogspot.com/2010/03/paja-toquilla.html>.
- [15] Grupo Ekos, «Grandes Marcas Ecuador 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://marcas.ekosnegocios.com/marcas/192-atu>.
- [16] Kapari Comunicación, «Huelga y toma de fábricas en ATU,» 7 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://redkapari.org/2019/02/07/huelga-y-toma-de-fabricas-en-atu/>.
- [17] Grupo Ekos, «El colapso de ATU deja dudas,» 29 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.ekosnegocios.com/articulo/el-colapso-de-atu-deja-dudas>.
- [18] Atu Artículos de Acero, S.A., «Escritorios Ejecutivos Chieti,» [En línea]. Available: <https://1184-ec.all.biz/escritorios-ejecutivos-chieti-g1352>.
- [19] ATU, «Salas de Espera y Lounges Tandem,» ATU, Artículo de Acero, S.A, [En línea]. Available: https://www.vknow24.com/product_detail.php?c=sillas%20tandem%20y%20para%20salas%20de%20espera&p=29.

- [20] ATU, «Archivación Cabinet,» ATU Artículos de Acero, S.A, [En línea]. Available: <https://1184-ec.all.biz/archivacin-cabinet-g1357>.
- [21] REVISTA CLAVE, «ATU DESIGN: MODERNIDAD Y ELEGANCIA,» REVISTA CLAVE, 06 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.clave.com.ec/2016/07/06/atu-design-modernidad-y-elegancia/>.
- [22] Plásticos Industriales C.A, «Historia,» 02 Julio 2019. [En línea]. Available: <http://www.pica.com.ec/nosotros>.
- [23] Superbrand, «Pica,» 16 Febrero 2019. [En línea]. Available: http://macrovisionmedia.com/superbrandecuador/pdf_casos/pica.pdf.
- [24] Varma Carrocerías, «Historia,» 29 Julio 2019. [En línea]. Available: <http://varma.com.ec/web/varma/historia/>.
- [25] Revista Lideres, «El diseño de buses, su valor extra,» 15 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/disenos-buses-extra-empresa-negocios.html>.
- [26] J. Casañas, «Los 3 carros orgullosamente ecuatorianos,» 13 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://somosciudad.byclaro.com.ec/los-3-carros-orgullosamente-ecuatorianos/>.
- [27] J. Salazar, «LA HISTORIA DEL AUTO HECHO EN ECUADOR,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.patiodeautos.com/general/la-historia-del-auto-hecho-en-ecuador/>.
- [28] CROMÍA, «Saludos y Bienvenidos a Cromía 2017,» CROMÍA, 2017. [En línea]. Available: <http://cromiaecuador.com/>.
- [29] J. Zambrano, «Diseñadores piensan en un 'Andino Bacán',» 17 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/cultura/10/disenadores-piensen-en-un-andino-bacan>.
- [30] M. Echeverría, «Andino «el carro divino»,» Motorbit, 2015 Noviembre 26. [En línea]. Available: <https://info.motorbit.com/mx/andino-el-carro-divino/>.
- [31] Indurama, «47 años de experiencia,» 01 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.indurama.com/es/content/acerca-de-global>.
- [32] COLINEAL, «COLINEAL,» 15 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://lanacion.com.ec/310769-2/>.
- [33] Marketing Activo, «Colineal : Colonial y Lineal,» 31 Julio 2012. [En línea]. Available: <https://marketingactivo.com/colineal-colonial-y-lineal/2012/07/31/>.
- [34] GRUPO EKOS, «Grandes Marcas Ecuador 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://marcas.ekosnegocios.com/marcas/205-colineal>.
- [35] F. Torres, «El mueble cuencano talla el desarrollo local,» 03 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com.ec/noticias/economia/1/el-mueble-cuencano-talla-el-desarrollo-local>.
- [36] P. Roman, «Colineal,» 13 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://prezi.com/0mmlr59ww6qy/colineal/>.
- [37] PUCESA, «I Reunión de Escuelas de Diseño Industrial del Ecuador,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.pucesa.edu.ec/i-reunion-disenos/>.
- [38] Diario El Universo, «6 carreras universitarias más en la Espol,» 15 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/01/15/nota/5996977/6-carreras-mas-espol>.
- [39] World Intellectual Property Organization, «Looking Good,» 2019. [En línea]. Available: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_498_1.pdf.
- [40] Plataforma Iberoamericana de Propiedad Intelectual dirigida a Empresas, «Diseños o Dibujos Industriales,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.cibepyme.com/minisites/ecuador/es/propiedad-intelectual/propiedad-industrial/Disenos-Industriales/>.

- [41] Haremos Historia, «RODNEY VERDEZOTO / DISEÑADOR INDUSTRIAL Y DE INTERIORES,» 8 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.haremoshistoria.net/invitados/rodney-verdezoto-diseador-industrial-y-de-interiores>.
- [42] Haremos Historia, «RAÚL GUARDERAS / DISEÑADOR INDUSTRIAL Y DE INTERIORISMO,» 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.haremoshistoria.net/invitados/raul-guarderas-disenador-industrial-y-de-interiorismo>.
- [43] Haremos Historia, «DISEÑO INDUSTRIAL, PONER AL USUARIO PRIMERO / ARSENIO GARCÍA,» 17 Junio 2014. [En línea]. Available: <https://www.haremoshistoria.net/noticias/disen-industrial-poner-al-usuario-primero-arsenio-garcia>.
- [44] IMAGINARIO ECUADOR, «los objetos de arsenio,» IMAGINARIO ECUADOR, 4 Octubre 2007. [En línea]. Available: <http://imaginarioecuador.blogspot.com/2007/10/los-objetos-de-arsenio.html?view=timeslide&m=1>.
- [45] Haremos Historia, «FERNANDO ECHEVERRÍA / DISEÑO DE CALZADO Y ACCESORIOS DESDE PRAGA,» 7 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.haremoshistoria.net/noticias/fernando-echeverria-disen-de-calzado-y-accesorios-desde-praga>.
- [46] EL COMERCIO, «Un zapatero ecuatoriano conquista las vitrinas y pasarelas de Europa Central,» EL COMERCIO, 12 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/chic/zapatero-ecuatoriano-creativos-pasarelas-europa.html>.
- [47] A. Cuervas, «FERNANDO ECHEVERRÍA: TRADICIÓN A TODO COLOR,» 6 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://socatchy.net/es/fernando-echeverria-tradicion-a-todo-color/>.
- [48] E. Fernando, «Kubista heel,» Fernando Echeverría, [En línea]. Available: <http://ferech.com/kubistaheel/>. [Último acceso: 2019 Septiembre 03].
- [49] F. Arroyo, D. Bravo, C. Buenaño y M. Rivera, «Importancia de la calidad para el desarrollo del diseño industrial en el Ecuador,» Julio 2018. [En línea]. Available: <http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/565/1107>.
- [50] Universidad Autonoma Metropolitana, «EL DISEÑO INDUSTRIAL COMO ACTIVIDAD ECONÓMICA,» 21 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://introduccionaldisenoindustrial.wordpress.com/2017/02/21/el-disen-industrial-como-actividad-economica/>.
- [51] Diseño Público, «REPORTE MUESTRA QUE LA ECONOMÍA DEL DISEÑO APORTA £71.7 BILLONES A UK,» 2016. [En línea]. Available: <http://disenopublico.org/reporte-economia-del-disen-uk/>.
- [52] INTI, «Diseño en la Argentina: Estudio del Impacto Económico 2008,» Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, 2008.
- [53] M. García, «Hecho en Ecuador: La historia de los autos ensamblados en el país,» *Diario Expreso*, 16 Noviembre 2016.
- [54] Diseño en Ecuador, «Haremos Historia,» 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.haremoshistoria.net/invitados/raul-guarderas-disenador-industrial-y-de-interiorismo>. [Último acceso: 12 06 2019].

Normas para publicar en la revista Ingenio

Los artículos enviados a la revista Ingenio deben ajustarse a los siguientes criterios:

Aspectos generales

1. Podrán ser publicados todos los trabajos realizados por investigadores nacionales o extranjeros, una vez que cumplan los criterios de calidad científica requeridos.
2. La revista Ingenio publica artículos relacionados con investigaciones culminadas, revisiones bibliográficas, informes de desarrollo tecnológico, ensayos científicos, propuestas de modelos e innovaciones, productos de la elaboración de tesis de grado siempre que sean un aporte para el campo de la ciencia y tecnología.
3. La revista Ingenio publica trabajos originales e inéditos en español e inglés; es decir, no pueden haber sido publicados a través de ningún medio impreso ni electrónico.
4. Todo artículo será sometido a un riguroso proceso de arbitraje (doble ciego); la evaluación del artículo se hará conforme a criterios de originalidad, pertinencia, actualidad, aportes, rigurosidad científica y cumplimiento de las normas editoriales establecidas.
5. Por tratarse de una publicación arbitrada, el Consejo Editorial aprueba su publicación en base al concepto de pares especializados. La recepción de un documento no implica compromiso de publicación.
6. Es indispensable presentar una carta dirigida al Consejo Editorial autorizando a la revista Ingenio la publicación de la investigación, dando fe de la originalidad y de ser autor de la misma. Además, debe consignar constancia o credencial que conforme la adscripción a la Universidad o Centro de Investigación, tal como firma el artículo.
7. Como reconocimiento a su aporte, a cada autor se le remitirán dos ejemplares de la edición en la cual se publica el artículo.
8. El artículo propuesto se debe remitir a: fing.revista.ingenio@uce.edu.ec o a revistaingenio.uce@gmail.com

Requerimientos técnicos

1. Los artículos pueden estar escritos sobre Microsoft Word (.doc o .docx) o LATEX (.tex). Las plantillas a ser utilizadas pueden ser descargadas del sitio web de la revista (próximo a ser abierto).
2. Las ilustraciones y tablas deberán estar numeradas secuencialmente incluyendo una descripción explicativa para cada una. Las ecuaciones incluidas en el artículo deberán también estar numeradas.
3. Cuando presente el artículo, no intente diseñar el manuscrito. Use un tamaño de letra de 12 puntos en todo el manuscrito. No justifique el margen derecho.
4. El manuscrito no debe tener más de 10.000 palabras de extensión e incluir algunos o todos los siguientes elementos;

Título del Artículo; Times New Roman; Tamaño-14

Title of the Manuscript, Times New Roman - 12

RESUMEN

Contenido entre 100 a 150 palabras

Palabras clave

Justo después del resumen, mínimo cuatro

Ejemplo:

Palabras clave: *biomasa, pirólisis, lecho fluidizado, bio-aceite, bio coimbustibles*

ABSTRACT

It must contain minimum 50 maximum 100 words

Keywords

Just after the abstract, minimum four

Sample:

Keywords: *biomass, pyrolysis, fluidized bed, bio-oil, bio char*

Texto principal

Columna doble, 11 puntos, Times New Roman, espacio y medio, Microsoft Word

Figuras y ecuaciones en el texto.

Tabla 1, Tablas 1 y 2, Tablas 1 a 3

Fig. 1, Figs. 1 y 2, las Figs. 1 a 3

Eq. 1, Eqs. 1 y 2, Eqs. 1 a 3

Ecuaciones

Usar el Editor de ecuaciones de Microsoft

Ejemplo: $\frac{d\alpha W_i}{dt} = R_i \partial$ (1)

Estilo y estructura de los encabezados.

Ejemplo:

Título

RESUMEN

ABSTRACT

1. Introducción

2. Método

2.1 Material

2.2 Configuración

2.2.1 Experimento

3. Resultados y discusión

3.1 Efecto de la temperatura

3.2 Efecto de la velocidad superficial

4. Conclusión

Referencias

Figuras y tablas

Las figuras y tablas se agregarán al final del archivo del manuscrito, y no se agregarán al texto principal. La ubicación de las figuras y tablas se exhibirá insertando sus subtítulos en el texto principal. Una vez aceptado, los archivos de figuras de alta resolución (más de 300 dpi, un archivo por figura) se enviarán al editor.

2. Figura y su leyenda

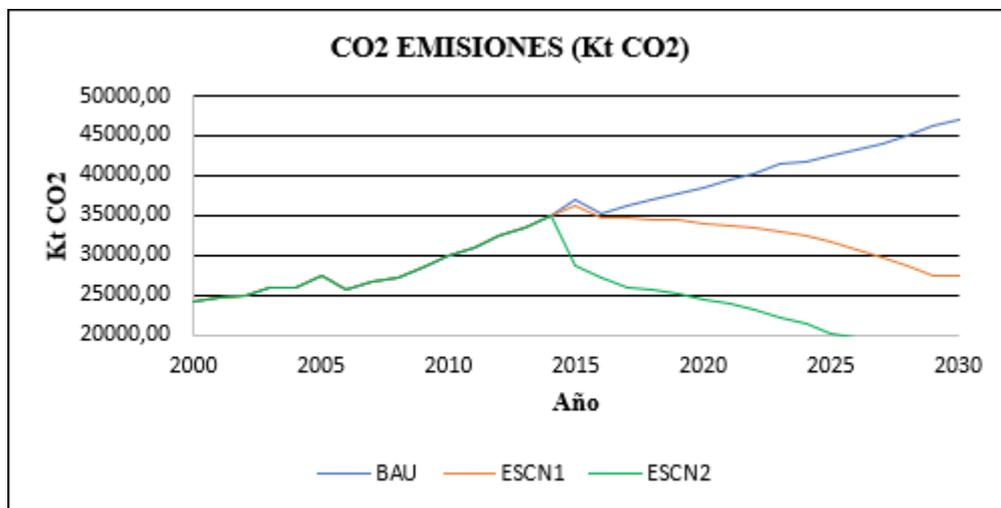


Figura 1. Comparación entre CO2 calculado y escenarios en años

Tablas y su leyenda

Tabla 1. Resultados del análisis del biogás (biodigestor taiwanés).

Resultados obtenidos			
<i>Condiciones de trabajo</i>	Temperatura (°)		
	20		
<i>RESULTADOS (Composición)</i>	Componente	% peso	% moles
	Nitrógeno	2.55	3.72
	Metano	2.36	6.00
	Dióxido de carbono	93.24	86.35
	Agua	1.54	3.48
<i>RESULTADOS (Propiedades)</i>	Densidad relativa (20°C; 0.72 atm)		1.41
	Peso molecular promedio [g/mol]		40.63
	Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		1431.16
	Poder calorífico inferior a 25°C [Btu/lb]		1289.67

3. *Nota: descripción que usted considere necesario mencionar*

Referencias

Las referencias se enumerarán por orden de citación en el texto (IEEE). [1] --.

[2] -----.

[3] -----.

En el texto, por favor cite cada referencia por número como se muestra a continuación:

Este resultado puede atribuirse a la diferencia de las dos velocidades de reacción según lo informado por Suzana et al. [1]

Este resultado puede atribuirse a la diferencia de las dos velocidades de reacción como se informó previamente [1].

El estilo dependerá del tipo de referencia que se muestra a continuación. Pero no es necesario clasificarlo en los tipos. Simplemente, enumérelos por orden de citación en el texto.

Ejemplos:

Artículos

[1] Couhert C, Salvador S, Commandré J-M. Impacto de la torrefacción en la producción de syngas a partir de madera. *Fuel* 2009; 88: 2286-2290.

Conferencias

- [1] Suzana Y, Mohamad T A, Uemura Y, Anita R, Lukman I, Shuit S H, Tan K T, Lee K T. Revisión sobre la utilización de la biomasa agrícola como fuente de energía en Malasia. En: Actas del 16º Simposio regional de la ASEAN sobre ingeniería química, 1 y 2 de diciembre de 2009, Manila, Filipinas, págs. 86-89.

Sitio web

- [1] MPOB (Junta de Aceite de Palma de Malasia), 2008, "6.8 Productores principales mundiales de aceite de palma: 1999 - 2008." Recuperado el 28 de enero de 2010 de http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2008/ei_world08.htm.

Libro

- [1] Corley R H V, Tinker P B. La palma aceitera. 4ta ed. Oxford: Blackwell Science; 2003, p.328.

NOTA: El tipo de carácter usado en esta sección ha sido establecido de acuerdo a como deberá ser presentado su trabajo escrito.

5. Para la integración de citas dentro del artículo, debe usarse un corchete con un número en el interior, el mismo que hará referencia al documento de citación que debe constar en la bibliografía, y se irá colocando de forma ascendente. Cuando se trata de citas textuales se escribirá entre comillas con el texto en cursiva y a continuación se debe colocar el corchete con el número que corresponda siguiendo el formato de la IEEE. Información disponible en URL <http://normas-ieee.com/>

Arbitraje

1. El Comité Editorial remitirá al autor acuse de recibo de su trabajo en un plazo no mayor de cinco días luego de cerrada la convocatoria, y en un mes (que podría ampliarse en circunstancias extraordinarias hasta mes y medio) le remitirá la resolución final sobre el mismo.
2. Para ser publicado en la revista Ingenio, todo artículo será sometido a una fase de selección y a un proceso de dictamen. En la primera fase, el Comité Editorial seleccionará los artículos que correspondan a las áreas temáticas tratadas en la revista y que cumplan con los requisitos académicos indispensables de un articulocientífico.
3. Las contribuciones serán sometidas al dictamen de dos especialistas en la materia correspondiente. Si existe contradicción entre ambos dictámenes, se procederá a una tercera evaluación que se considerará definitiva. El proceso de dictamen será secreto y no se dará información nominal respecto a éste. Una vez emitidas las evaluaciones de los árbitros consultados, se enviará a los autores el acta de dictamen, y éstos tendrán un plazo no mayor de cinco días para entregar la versión final del artículo con las correcciones pertinentes si las hubiere.
4. El Comité Editorial de la revista verificará la versión final con base en los dictámenes e informará a los autores en qué número de la revista será publicado su trabajo. Las colaboraciones aceptadas se someterán a corrección de estilo y su publicación estará sujeta a la disponibilidad de espacio en cada número.

Antiplagio

1. Todos los artículos recibidos por la revista Ingenio serán sometidos a un control Antiplagio utilizando diversas herramientas como el sistema Urkund, que analiza los textos en busca de coincidencias gramaticales y ortográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos.





Esta edición que consta de 150 ejemplares en papel couché de 115 grs., se terminó de imprimir en 2020, siendo Rector de la Universidad Central del Ecuador el señor Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda.



FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

Pone a disposición de la comunidad los siguientes servicios:

LABORATORIO DE SANITARIA

Tel: (02) 2542026 Ext: 224



ÁREA DE CAPACITACIÓN INFORMÁTICA

Tel: (02) 2542026 Ext: 246



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

Tel: (02) 2542026 Ext: 218



LABORATORIO DE PROTOTIPOS

Tel: (02) 2542026 Ext: 218



LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Tel: (02) 2542026 Ext: 223



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

Tel: (02) 2550910



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA

Tel: (02) 2238970



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Tel: (02) 2522655



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Tel: (02) 2238744 Ext: 211



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA POPULAR - DIP

Tel: (02) 2542026

Ing. Cecilia Flores Villalva M.Sc.
DECANA

Ing. Flavio Arroyo M.Sc.
SUBDECANO

 <http://uce-ing-informatica.blogspot.com/>