

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Collection: applied mechanical engineering

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-860-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608220102>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied mechanical engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na mensuração da criticidade na manutenção de equipamentos, análise de desempenho de indicadores de manutenção, análise de modo e efeito de falha para o desenvolvimento de um plano de manutenção, estudo cinemático das velocidades de um mecanismo genérico, avaliação da eficiência e utilização de ventiladores com motores eletrônicos em sistemas de ar condicionado industrial, desenho de mecanismo e estrutura para animatrônicos, estudo da posição de um mecanismo de quatro barras por meio de uma interface gráfica, modelo matemático para obter a componente axial da velocidade absoluta nos impulsores de turbocompressores centrífugos, mensuração do aumento de eficiência de produção e energia elétrica usando o pré-resfriamento para o ultracongelamento de pães, requisitos metrológicos, ondas de Lamb e métodos estatísticos para detecção do limiar de dano aplicado à estruturas de aeronaves e uso da visão por computador para identificação de circuitos integrados em placas eletrônicas.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DE CRITICADE DOS EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALHAS PLUVIAIS

Pierre Breno Nunes de Assis
Beatriz da Costa Lima
Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior
Matheus Gomes Lima
Patric de Holanda Nogueira
Ramon Rudá Brito Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201021>

CAPÍTULO 2..... 16

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DO VALE DO JAGUARIBE

José Guilherme Queiroz Sousa
Patric de Holanda Nogueira
James Rodrigo da Silva Lima
Luan Victor Diniz Campos
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201022>

CAPÍTULO 3..... 28

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO

Vinícius Gomes Silva
Daniel Levi Maia Matos
João Víctor Nogueira Gonçalves
Gilvan Antônio Cappi
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201023>

CAPÍTULO 4..... 42

APLICAÇÃO DIDÁTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS

Vergara Hernández Erasto
Pérez Millán Brenda Carolina
Cea Montufar César Eduardo
Torres Torres Yael Valdemar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201024>

CAPÍTULO 5..... 52

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES

ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Abimael J. Urcino Junior

Samuel Mariano do Nascimento

Eliandro Barbosa de Aguiar

Alexandre Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201025>

CAPÍTULO 6..... 68

DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS

Roberto Carlos García Gómez

Hernán Valencia Sánchez

Juan Carlos Niños Torres

Mario Alberto Cruz Padilla

Fernando Alfonso May Arrioja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201026>

CAPÍTULO 7..... 80

ESTUDO DA POSIÇÃO DE UM MECANISMO DE QUATRO BARRAS POR MEIO DE UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO

Vergara Hernández Erasto

Pérez Millán Brenda Carolina

Cea Montufar César Eduardo

Yael Valdemar Torres Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201027>

CAPÍTULO 8..... 90

LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO COMO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA COMPONENTE AXIAL (C_{2U}) DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LOS IMPULSORES DE LOS TURBOCOMPRESORES CENTRÍFUGOS

Tena Verdejo Juan

Santiago Gabino Francisco

Tena Galván Sandra Zulema

Oropeza Ramírez Salvador

Gutierrez Pola Marlenne

Ordoñez Tapia Mayanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201028>

CAPÍTULO 9..... 98

MENSURAÇÃO DO AUMENTO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA USANDO O PRÉ RESFRIAMENTO PARA O ULTRACONGELAMENTO DE PÃES

Leandro Fluvio Torno

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Sariah Torno

Darlo Torno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201029>

CAPÍTULO 10.....	110
REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS PARA MEDIÇÃO FISCAL APLICADOS A UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE PETRÓLEO (FPSO): CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	
Hélio Damásio de Lima Filho	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antônio Robson Gurgel	
Antonio Rodolfo Paulino Fernando Pessoa	
André Luís Novaes Motta	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210	
CAPÍTULO 11	124
SHM BASEADO EM ONDAS DE LAMB E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O LIMAR DE DETECÇÃO DE DANO APLICADO A ESTRUTURAS DE AERONAVES	
Lucas Altamirando de Andrade da Rocha	
Roberto Mendes Finzi Neto	
Valder Steffen Jr	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211	
CAPÍTULO 12.....	138
VISIÓN POR COMPUTADORA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	
Samuel Sotelo Martínez	
Raúl García García	
Rafael Ocampo Martínez	
Marco Antonio Olivo Flores	
Pablo Saúl Espinoza Aguirre	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212	
CAPÍTULO 13.....	148
AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL	
Priscila Martta Rodrigues	
Cícero Coelho de Escobar	
Flávia Schwarz Franceschini Zinani	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	159
ÍNDICE REMISSIVO.....	160

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS

Data de aceite: 10/01/2022

Roberto Carlos García Gómez

Profesor investigador del departamento de metal-mecánica, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México

Hernán Valencia Sánchez

Profesor investigador del departamento de metal-mecánica, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México

Juan Carlos Niños Torres

Profesor investigador del departamento de metal-mecánica, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México

Mario Alberto Cruz Padilla

Profesor investigador del departamento de metal-mecánica, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México

Fernando Alfonso May Arriola

Profesor investigador del departamento de metal-mecánica, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México

RESUMEN: Este trabajo describe el diseño de un sistema músculo-esquelético animatrónico de un dinosaurio de la especie Triceratops en una escala de 1:10. El diseño se realizó a partir de las especificaciones objetivo que presentó

el solicitante. Estos requisitos funcionales incluyeron nueve grados de libertad accionados mediante nueve mecanismos para abrir la boca y los ojos, subir y girar el cuello, subir y bajar el torso para simular respiración, mover una extremidad delantera y tres movimientos de cola. El diseño resultante fue evaluado mediante simulaciones dinámicas y cinemáticas y como resultado, se seleccionaron los actuadores que ejecutan los movimientos y la dimensión de la estructura. Se realizó además, un análisis de esfuerzos a varios elementos mecánicos para lograr una estructura robusta que cumpliera con los requisitos funcionales solicitados.

PALABRAS CLAVE: Animatrónico, diseño, estructura, triceratops.

ABSTRACT: This work describes the design of an animatronic musculoskeletal system of a Triceratops dinosaur on a scale of 1:10. The design was made from the specifications submitted by the applicant. These functional requirements included nine degrees of freedom actuated by nine mechanisms to open the mouth and eyes, raise and turn around the neck, raise and lower the torso to simulate breathing, move a front limb, and three tail movements. The resulting design was evaluated by dynamic and kinematic simulations and as a result, actuators running movements and dimensions of the structure were selected. In addition, a stress analysis was carried out on various mechanical elements to achieve a robust structure that met the functional requirements requested.

KEYWORDS: Animatronic, design, structure, triceratops.

INTRODUCCIÓN

Bajo los desarrollos de la robótica, aparecen una metodologías para recrea el movimiento de seres vivos mediante el uso de mecanismos robóticos o electrónicos [1] [2] [3], denominada animatrónica [4] [3]. El cual, ha tenido un amplio uso en varias industrias, especialmente en aquellas relacionadas con el entretenimiento [5] tales como: producciones cinematográficas [6], teatrales [7] y parques temáticos. El primer animatrónico para fines de entretenimiento fue construido por Disney en 1960 [8]. Hoy en día el uso de estos equipos es tan variado que los localizamos en: terapias médicas [9] [2], juguetes [10] y museos [11]. Buscando que los espectadores se sumerjan en un entorno controlado para que la experiencia que estén desarrollando sea lo más parecidas a la realidad [12].

Bajo este contexto, el Museo Chiapas de Ciencias y Tecnología (MUCH), se planteó la construcción de un animatrónico para ser utilizado en una exposición en un diorama de la era jurásica, el cual contará con diferentes representaciones de dinosaurios de la zona; el cuál se implementará en el MUCH, que se encuentra ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. Este artículo hablara de un animatrónico que emulará a un triceratops, el cual fue dinosaurios herbívoros, que vivieron desde finales del Jurásico hasta finales del Cretácico, hace desde 165 a 70 millones de años. Derivado del griego tri-kéras-ops, hace alusión a su rasgo más dominante: tres cuernos en la cara. Medía tres metros de altura y al menos nueve metros de largo [13], esta especie de dinosaurio habitaba esta zona geográfica.

En este trabajo, se describe el diseño de los mecanismos y la estructura de este animatrónico, el cual reproduce las características físicas que debió poseer el dinosaurio; este diseño fue realizado utilizando dimensiones reales y cuenta con nueve grados de libertad.

METODOLOGÍA

La metodología que se emplea prevé la capacidad de combinar ideas, principios científicos, recursos y, a menudo, productos existentes en la solución de un problema. Esta capacidad de generar soluciones es el resultado de un enfoque organizado y ordenado para abordar el problema, el cual se conoce como proceso de diseño. El proceso de diseño que conduce a la fabricación, ensamblaje, mercadotecnia, servicio y las diversas actividades necesarias para crear un producto exitoso se compone de varias etapas fáciles de reconocer [14]. Aunque muchos grupos industriales las pueden identificar de un modo distinto, un procedimiento conveniente para el diseño de un producto nuevo o mejorado se divide en las siguientes cinco etapas [15] [16].

1. Identificación del problema, necesidad o "cliente".
2. Conceptos e ideas.

3. Consenso y análisis de soluciones.
4. Modelos y prototipos.
5. Dibujos de producción o funcionamiento.

Identificación del problema

Siguiendo el proceso metodológico, como primer paso se recopiló una serie de requerimientos y necesidades provenientes del cliente. Los datos iniciales fueron que el dinosaurio cumple con una escala 1:3 del tamaño real. Abarcaría un espacio inmóvil de: largo: 3.30 m, alto: 1.50 m, ancho: 1.0 m y cuando se mueva las dimensiones máximas serían: largo: 3.50 m, alto: 1.80 m, ancho: 1.20 m. De este procedimiento también se definió la cantidad de movimientos que debía tener el animatrónico, siendo estos: apertura de la mandíbula, apertura de ojos, giro de la cabeza, extensión vertical del cuello, movimiento horizontal del cuello, movimiento de dos grados de movilidad de una extremidad frontal, ascenso descenso del torso, ascenso descenso de la cola y dos movimientos independientes de la cola en el plano horizontal del robot, es importante mencionar que estas características fueron similares a otro animatrónico que se diseñaría con la finalidad de integrar el diorama. Posteriormente, todas las necesidades definidas inicialmente fueron interpretadas para tecnificar todos los requerimientos y de esta forma iniciar el diseño del animatrónico. Las especificaciones objetivo conseguidas a partir de las necesidades iniciales se listan en la Tabla 1, la cual muestra principalmente los valores ideales y valores marginales de las métricas que permiten cuantificar estas especificaciones. También se muestra una columna donde se jerarquizan estas métricas de acuerdo a la importancia que posee una especificación respecto al grado de satisfacción global de las necesidades que pretende suplir este diseño [17].

Métrica	Importancia	Unidad	Valor marginal	Valor Ideal
Masa Total	3	Kg	<100	<40
Emisión de sonidos (característico del Dinosaurio)	5	dB	>90	>110
Cantidad de movimientos en el mecanismo	5	Adimensional	7	10
Apariencia semejante a un dinosaurio	4	Subj.	3-4	5
Costo unitario de manufactura	4	\$	<450000	<350000
Tiempo necesario para realizar mantenimiento.	3	Min	<240	<180
No representa riesgo humano	5	Subj.	4	5
Volumen	4	m ³	8	7
Velocidad de movimientos	5	mm/s	5	3
Factor de seguridad	4	Adimensional	1.5	2.5

Nota: La expresión Subj. Hace referencia a un valor subjetivo que se calcula mediante la realización de una encuesta de aceptación por parte del público, en una escala que va entre 1 y 5. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1 Especificaciones objetivo empleadas para la selección del concepto.

Generación de conceptos e ideas

A raíz de la información previa se inició el proceso de generación de conceptos para lo cual se presentaron una serie de alternativas de solución para cada uno de los movimientos solicitados que permitiesen cumplir las especificaciones previamente definidas. Estas opciones se fundamentan en la selección de diferentes elementos estructurales, mecanismos, actuadores y elementos mecánicos para la transmisión de potencia. Todos estos elementos estarán dispuestos estratégicamente dentro de una estructura rígida fabricada con perfiles cilíndricos y estructurales de aluminio idealmente para cumplir con los requerimientos de peso. Por ejemplo, en la Figura 1 y 2, describen 2 mecanismos propuestos para el movimiento de flexión vertical del cuello del animatrónico.

Asimismo, para los demás mecanismos se desarrollaron diferentes alternativas: dos para la apertura de la boca, dos para la flexión y dos para el giro de la cabeza, dos para la flexión horizontal del cuello, dos para ascenso y descenso del torso, dos para el giro de los brazos y dos para el movimiento de la cola. Posteriormente, se realizó una combinación entre las distintas alternativas desarrolladas para cada mecanismo con el propósito de obtener varios conceptos viables del animatrónico completo que pudiese cumplir con las características iniciales. Es importante acotar que la combinación de alternativas fue limitada a aquellas combinaciones posibles que permitieran generar una máquina coherente donde todos los mecanismos individuales puedan trabajar eficientemente en conjunto. Entonces, de todas las posibles combinaciones se obtuvieron tres conceptos denominados “viables”.

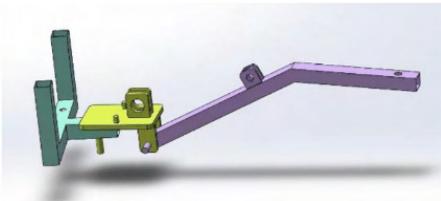


Figura 1 Opción 1 para el cuello del animatrónico.

Fuente propia.

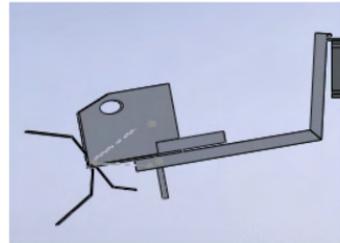


Figura 2 Opción 2 para el cuello del animatrónico.

Fuente propia.

Selección del concepto a desarrolla

En el mismo orden de ideas, el paso posterior de este proyecto fue la selección del concepto a desarrollar mediante el uso de matrices de decisión que sirven para evaluar cada concepto con respecto a los criterios de elección asociados a las especificaciones objetivo. Dicho proceso de selección se realizó en dos fases: la primera fase es denominada “filtrado de conceptos”, permitió aplicar una evaluación relativa donde cada concepto era

comparado respecto a los demás de acuerdo a los criterios de selección. En cada parámetro evaluado, el concepto podría obtener una calificación de: “mejor que” (+1), “igual a” (0), o “peor que” (-1), lo anterior es para cuantificar atributos cualitativos. Finalmente todas las calificaciones obtenidas por cada concepto fueron sumadas en una matriz de decisión que permitió diferenciar tres conceptos del resto cuyas características generales se listan en la Tabla 2.

La segunda fase realizó el proceso de evaluación cuantitativa donde los tres conceptos sobrevivientes fueron calificados para cada criterio de selección con una escala del 1 al 5, pero esas calificaciones fueron ponderadas de acuerdo al peso definido (en la primera sección de este artículo), para cada criterio (grado de importancia). Finalmente se totalizó la calificación obtenida para cada concepto (ver Tabla 3), resultando ser el concepto No. 3 el que satisface en mayor grado los criterios de selección.

En la Figura 3 se presenta esquemáticamente el concepto ganador con los mecanismos seleccionados después del proceso de evaluación, y en la Figura 4 se muestra el modelado CAD del animatrónico obtenido después de todo el proceso de dimensionamiento y selección de actuadores. Tanto el funcionamiento de este concepto como la selección de sus componentes se describirán a continuación.

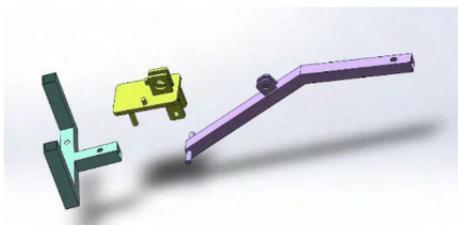


Figura 3 Esquemático del concepto ganador de mecanismos seleccionados en el cuello

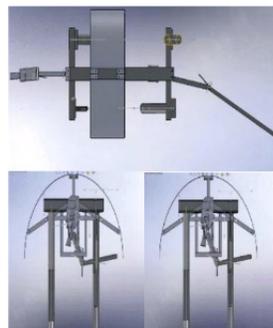


Figura 4 Modelado final del iguanodonte.

	Alternativas de solución		
Movimiento	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 5
Apertura de mandíbula	Cable unido a servomotor	Cable unido a servomotor	Sistema de resortes y cable unido a un pistón neumático
Apertura de ojos	Cable unido a servomotor	Cable unido a servomotor	Sistema de resortes y cable unido a un pistón neumático
Giro de cabeza	Servomotor acoplado a eje del cuello	Servomotor acoplado a eje del cuello	un pistón neumático acoplado a eje superior del cuello
Flexión y extensión de cuello	Cable unido a actuador lineal	Sistema de cables unido a servomotor	un pistón neumático acoplado a eje del cuello
Movimiento horizontal del cuello	Estructura pivotante unida a actuador lineal	Sistema de disco excéntrico	un pistón neumático acoplado a eje del cuello
Movimiento de la base de la cola horizontal cuello	Servomotor acoplado a sistema de engranajes	Servomotor acoplado a sistema de engranajes	un pistón neumático acoplado a un sistema de contrapesos
Movimiento de la base de la cola horizontal cuello	Mecanismo de barras y pasadores	Movimiento de una barra rígida	un pistón neumático acoplado a eje de la cola
Movimiento de la cola segunda sección	Sistema de cables y discos	Sistema de cables y discos	un pistón neumático acoplado a eje de la cola
Ascenso del torso	Actuador lineal acoplado a la estructura	Actuador lineal acoplado a la estructura	Actuador lineal acoplado a la estructura
Movimiento de la extremidad frontal	Mecanismo de barras y pasadores	Movimiento de una barra rígida	Sistema de resortes y cable unido a un pistón neumático

Tabla 2. Descripción de movimientos en los conceptos a ser valorados en evaluación cuantitativa

Criterios de selección	Peso (%)	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Calif.	Evaluación ponderada	Calif.	Evaluación ponderada	Calif.	Evaluación ponderada
Ligero de peso	5.76	3	0,1728	4	0,2304	3	0,1728
Sonidos similares a Iguanodonte	9.61	5	0,4805	5	0,4805	5	0,4805
Ejecución 10 movimientos	9.61	5	0,4805	5	0,4805	5	0,4805
Semejanza a la realidad	7.69	3	0,2307	3	0,2307	4	0,3076
Es económico	7.69	2	0,1538	3	0,2307	2	0,1538
Es duradero	5.76	3	0,1728	3	0,1728	4	0,2304
Fácil traslado	5.76	3	0,1728	3	0,1728	3	0,1728
Fácil mantenimiento y limpieza	5.76	4	0,2304	4	0,2304	4	0,2304
Seguro para el público	9.61	5	0,4805	5	0,4805	5	0,4805
Se adecua a los recursos	7.69	5	0,3845	5	0,3845	5	0,3845
Realiza movimientos sutiles	9.61	4	0,3844	4	0,3844	5	0,4805
Es de fácil accionamiento	7.69	4	0,3076	4	0,3076	4	0,3076
Resistente	7.69	4	0,3076	4	0,3076	4	0,3076
Total			3,9589		4,0934		4,1895

Tabla 3. Evaluación cuantitativa de tres conceptos preseleccionados.

Resultados (Modelos y prototipos)

Como resultado de los diferentes puntos previos de la metodología adoptada llegamos a la descripción de los mecanismos que conforman el concepto seleccionado requieren el modelado de piezas, simulaciones cinemáticas y dinámicas, esto se logró mediante el software SolidWORKS 2018; también se seleccionaron los actuadores y

componentes mecánicos. Para cada uno de los mecanismos evaluados se programó, al momento de realizar las simulaciones cinemáticas y dinámicas, un perfil de velocidades el cual tomó en consideración la variación de la velocidad en el arranque y la trayectoria seguida por el mecanismo.

De forma simultánea se realizaron cálculos tradicionales de diseño para tener un valor de referencia a fin de contrastar los datos obtenidos mediante simulaciones computacionales. Con esta información se seleccionaron los actuadores y se realizaron los análisis de esfuerzos sobre las piezas críticas para asegurar su resistencia. A continuación se muestran los mecanismos diseñados y los resultados de la simulación dinámica y análisis de esfuerzos en algunas piezas [18].

Mecanismo de la cola

Está compuesto por dos estructuras que forman la extremidad base de la cola del iguanodonte que tiene dos movimientos independientes y un extremidad final que proporciona una especie de vertebra adicional para un tercer grado de libertad. Los tres actuadores estarán montados en las estructuras y pivotados de en puntos que permitan el movimiento más fluido para fines demostrativos. En las figuras siguientes se muestra el análisis de cada etapa así como los resultados teóricos de los elementos más representativos del mismo.

La cola en sí, es una máquina, por lo tanto fue analizada como tal.



Figura 5 Modelo del mecanismo de la cola

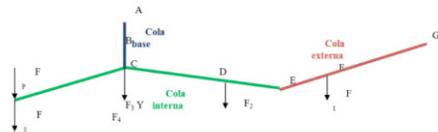


Figura 6 Equilibrio de la estructura de la cola

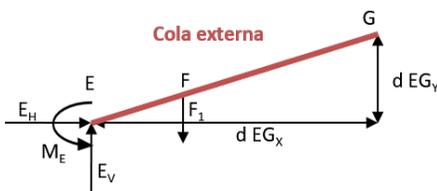


Figura 7 Equilibrio cola externa

F1	=	-115.4 N
d EGx	=	0.8788 m
d EGY	=	0.0904 m
RESULTADOS:		
EV	=	115.4 N
EH	=	373.9437 N
ME	=	33.80451 N-m

de la cola, Fuerza del actuador: 267.87 N, Masa a desplazar: 27.4 Kg, Deflexión máxima aproximada: 0.2 mm. El resultado final se puede apreciar en la figura 9.



Figura 9 Desarrollo del diseño desde la estructura, mecanismo e integración final de la cola.

Mecanismo adicional de la estructura

Los mecanismos considerados en este animatrónico adicionales a la cola son: la cabeza con tres grados de libertad (ojos, mandíbula, desplazamiento horizontal), el cuello con dos grados de libertad (desplazamiento horizontal y vertical) y el torso con dos grados de libertad (respiración y el movimiento de la extremidad delantera). El procedimiento que se siguió para estos mecanismos es el mismo que se describió en la metodología. Por lo que solo presentaremos la síntesis de los resultados [19].

Los mecanismos de la cabeza tendrían los siguientes valores.

- Movimiento horizontal de la cabeza: Recorrido del actuador: 90.4 mm extender, Angulo de posición: 40° respecto a la paralela del eje centroidal del cuello, Fuerza del actuador: 120 N, Masa a desplazar: 18.1 Kg, Deflexión máxima aproximada: 8.44 mm. A manera de demostrar el resultado se muestra la figura 10 del desarrollo de esta sección.



Figura 10 Desarrollo del diseño desde la estructura, mecanismo e integración final de la cabeza.

- Movimiento de la mandíbula: Recorrido del actuador: 23.83 mm extender, Angu-

lo de posición: 46.61° respecto a la paralela del eje centroidal del cuello, Fuerza del actuador: 27 N, Masa a desplazar: 2.75 Kg, Deflexión máxima aproximada: 0.676 mm.

- Movimiento de los ojos: Recorrido del actuador: 7.54 mm extender, Angulo de posición: 25° respecto a la paralela del eje centroidal dela cabeza, Fuerza del actuador: 27 N, Masa a desplazar: 2.75 Kg, Deflexión máxima aproximada: 0.1 mm.

Los mecanismos del cuello dan los siguientes valores.

- Movimiento vertical del cuello: Recorrido del actuador: 100.5 mm extender, Angulo de posición: 13° respecto a la horizontal del cuello en la vista lateral, Fuerza del actuador: 845 N, Masa a desplazar: 86.2 Kg, Deflexión máxima aproximada: 9.3 mm
- Movimiento horizontal del cuello: Recorrido del actuador: 70.5 mm extender, Angulo de posición: 13° respecto a la vertical del cuello en la vista lateral, Fuerza del actuador: 845 N, Masa a desplazar: 86.2 Kg, Deflexión máxima aproximada: 9.3 mm

Los mecanismos del torso tienen los siguientes valores.

- Movimiento de simulación de la respiración: Recorrido del actuador: 68.8 mm extender, Angulo de posición: 90° respecto a la horizontal del torso en la vista frontal, Fuerza del actuador: 82.72 N, Masa a desplazar: 8.44 Kg, Deflexión máxima aproximada: 0 mm
- Movimiento de la extremidad frontal: Recorrido del actuador: 96.9 mm extender, Angulo de posición: 31° respecto a la vertical del torso, Fuerza del actuador: 102 N, Masa a desplazar: 10.41 Kg, Deflexión máxima aproximada: 8.55 mm

TRABAJO A FUTURO

Para culminar el animatrónico correspondiente al triceratops se debe desarrollar diversas secuencias de control robusto así como la instalación de los elementos para la comunicación electrónica inalámbrica; además de la construcción e implementación de un recubrimiento flexible, texturizado y realístico. Siguiendo una metodología similar a la reportada podríamos replicar algunas otras especies de dinosaurios para integrar al diorama jurásico del Museo.

CONCLUSIONES

Con la premisa de atender los requerimientos del cliente, se logró diseñar el animatrónico con dimensiones análogas al dinosaurio real en escala 1 a 3, con un peso de 68 kg Kg y un volumen 7.2 m^3 lo cual satisfizo las especificaciones de diseño (Tabla 1) puesto que permite que el equipo sea portable y liviano. El diseño integra un sistema de

audio, encargados de emitir los sonidos que son hoy en día aceptados como del dinosaurio, además se logró incluir la totalidad de los movimientos requeridos.

Adicionalmente, se seleccionaron perfiles, placas y láminas de acero comercial para la construcción del robot, lo que ayudó a aumentar su resistencia puesto que esta estructura deberá soportar todo el sistema de recubrimiento que en siguientes etapas se agregara, todo el sistema controlado por PLC no supera los 10000 USD; a su vez, se garantizó que todas las piezas diseñadas poseen un factor de seguridad superior a 2.0, dándole así la resistencia necesaria para soportar todas las cargas.

Por otro lado, todos los mecanismos fueron diseñados modularmente para facilitar los procesos de ensamblaje, mantenimiento o sustitución de elementos averiados. Para ello, se dispusieron de 3 puntos de acceso al espacio interno del animatrónico: una posterior en el área de la cola y una frontal que brinda acceso a los mecanismos del cuello y uno inferior por el área del torso.

Por tanto, se diseñó un animatrónico plenamente funcional conformado por un conjunto de mecanismos que le otorgan los 9 grados de libertad requeridos inicialmente. Actualmente el sistema se encuentra en las instalaciones del Museo Chiapas de Ciencia y Tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por las facilidades para desarrollar este proyecto, así como al Museo Chiapas de Ciencia y Tecnología por solicitarnos para atender este proyecto y al COCyTECH por el apoyo financiero para este proyecto.

REFERENCIAS

[1] A. O. Baturone, *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*, Madrid, España: Marcombo, 2005.

[2] R. J.G. y H. J. , «The Anatomical and Mechanical Bases of Human Motion.,» *Englewood Cliffs N.J.: Prentice Hall*, 1988.

[3] Y. D. Kapse, P. Sarangpure y J. Mohurle, «Animatronic.,» *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng*, pp. 266-269, 2016 vol. 5 Num 4.

[4] M. D'Addario, *Manual De Robtica Industrial: Fundamentos, Usos Y Aplicaciones*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.

[5] M. Smith y D. Buckley, «A Lifelike Robotic Policeman with Realistic Motion and Speech,» *Proceedings of the Symposium on Robotics, Mechatronics and Animatronics in the Creative and Entertainment Industries and Arts*, pp. 22-26, 2005.

- [6] G. Balmori Serrani, «Revista de Occidente,» *Rev. Occident.*, pp. 85-96, 2017 vol 436.
- [7] M. Sakashita, T. Minagawa, A. Koike, I. Suzuki, K. Kawahara y Y. Ochiai, «You as a Puppet: Evaluation of Telepresence User Interface for Puppetry,» *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 217-228, 2017.
- [8] A. I. Encinar Sáez, «La inteligencia artificial en el cine,» *CYL Digit*, pp. 28-31, 2015.
- [9] M. Zissu, «EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DEL ATLETA DE ALTO RENDIMIENTO,» *Instituto Nacional de Deportes Universidad Pedagógica Experimental Libertador – IPC*, pp. 4-5, 2005- 2012.
- [10] V. M. Zatsiorky y W. J. Kraemer, *Science and Practice of Strength Training*, Human Kinetics.
- [11] P. Cárdenas y R. Parreño, «Diseño e implementación del sistema de control y audio de la maqueta animada del Allosaurio para el Museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.,» Escuela Politécnica Nacional, Venezuela, 2017.
- [12] E. Jochum, P. Millar y D. Nuñez, «Sequence and chance: Design and control methods for entertainment robots,» *Rob. Auton. Syst.*, pp. 372-380, 2016 vol. 87.
- [13] O. John H., «Functional Morphology and Evolution of the Ceratopsian Dinosaurs,» *Society for the Study of Evolution*, vol. 20, n° 3, pp. 290-308, 1966.
- [14] J. Brall, *Design for manufacturability handbook.*, New York, London: McGraw-Hill., 1999.
- [15] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Mc Graw Hill, 2012.
- [16] J. Liedtka y T. Ogilvie, *Designing for Growth: A Design Thinking Tool Kit for Managers.*, Columbia: Columbia Business School Publishing, 2011.
- [17] R. P.J, *Taguchi Techniques for Quality Engineering. Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design.*, New York, EU.: McGraw-Hill International Editions, 1989.
- [18] B. P. Ferdinand, E. Russell Johnston, Jr, J. T. DeWolf y D. F. Mazurek, «diseño de ejes de transmisión,» de *Mecánica de materiales.*, Mc Graw Hill, 5ta. edición, pp. 165-168, 500-504.
- [19] K. Serowe y R. Steven, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología.*, New York, EEUU: Prentice Hall, 2002.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA 29

Análise estatística 124, 125, 131, 135

C

Calha 7, 15

Cinemática 42, 43, 90, 91, 92

Circuito integrado 138, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Confiabilidade 14, 25, 28, 40, 41

Criticidade 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 66

D

Desenho 151

E

Estrutura 7, 23, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 150

F

Ferramenta da qualidade 22

Floating Production Storage and Offloading - FPSO 111, 112

I

Impulsor 91, 92, 93, 94, 95

Indústria têxtil 16

Interface gráfica 80

M

Manutenção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 112

Manutenção corretiva 1, 3, 4, 5, 8, 11, 18, 19, 39

Manutenção preventiva 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 18, 19, 38, 61

Mecanismo 10, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 71, 74, 75, 76, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 152

Mecanismo de quatro barras 80

Medição fiscal 110, 111, 112, 113, 114, 118

Monitoramento da integridade estrutural 125

O

Ondas de Lamb 124, 125, 126, 129

P

Petróleo 43, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 123

Placa eletrônica 61

Plano de manutenção 4, 5, 7, 12, 13, 22, 28, 30, 35, 37, 40, 54, 63, 64

Pré-resfriamento 98

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 29, 33, 40, 41, 99, 101, 122

R

Rendimento térmico 98

Requisitos metrológicos 110, 111

T

Tempo Médio de Reparo - MTTR 17, 24

Tempo Médio entre Falhas - MTBF 17, 22

Triceratops 68, 69, 77

U

Ultracongelamento 98, 102, 107, 108

V

Ventilador 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING


Ano 2022