

Anexo I: Diseño del ROV a partir de la “Metodología de Diseño Mecatrónico”

Para el diseño del ROV se emplea la metodología de diseño mecatrónico en la que se obtienen distintas propuestas de solución las que se evalúan para obtener la solución óptima según los criterios y restricciones establecidas. La metodología se emplea para las dimensiones en las que se divide el proyecto: mecánica, sensores y actuadores, electrónica, visión por computadora y control.

La metodología se divide en los siguientes pasos:

Lista de exigencias: Se elabora una lista con los requerimientos que el proyecto requiere y se dividen en exigencias y deseos según su naturaleza.

Estructura de funciones: A partir de los requerimientos se generan funciones estructuradas para cumplir con las exigencias del proyecto (tabla 1).

Matriz morfológica: Se elabora una matriz morfológica para cada dimensión del proyecto en la que se presentan diferentes opciones de portadores de funciones los cuales se combinan para generar conceptos de solución (tablas 2, 3, 4 y 5).

Evaluación de conceptos de solución: se realiza una evaluación ponderada de los conceptos de solución en base a criterios técnicos y económicos (tablas 6 y 7) para finalmente seleccionar el concepto que establece mejor relación técnica-económica como se muestra en la figura 1.

Finalmente se muestra un esbozo del concepto de solución seleccionado el cual se muestra en la figura 2.

Lista de exigencias

Tabla 1: Tabla lista de exigencias

Categoría	D/E*	Descripción
GENERALES		
Función Principal:	E	El robot móvil debe tener la capacidad de navegar bajo el agua a profundidades bajas (máximo 3m) en dos modos: manual y automático (enganchado a un objetivo a través de visión artificial).
Energía	E	Baterías y/o AC a través de adaptadores de voltaje.
Energía		El ROV debe poder ser accionado con baterías para permitir portabilidad del equipo.
Función	D	Se buscará que el sistema sea simple, funcional y económico.
Conectividad	E	La comunicación del ROV con la estación de control debe ser cableada
Geometría	D	Las dimensiones del ROV deberán de ser lo más compactas posibles.

Categoría	D/E*	Descripción
Cinemática	E	El ROV contará con 3 grados de libertad: <ul style="list-style-type: none"> • Arriba/abajo • Izquierda/derecha • Avance/retroceso
Dinámica	E	El equipo de ver capaz de navegar a velocidades apreciables para un observador externo.
Operatividad	E	El diseño del sistema deberá permitir al operador maniobrar con facilidad y comodidad el equipo.
Fabricación	E	La mayoría de materiales debe poder encontrarse en el mercado nacional.
Costo	E	Los costos de fabricación deberán ser los mínimos posibles.
MECÁNICA		
Función Principal	E	Se debe garantizar impermeabilidad total de la parte interna del ROV.
Función Principal	E	La estructura debe dar soporte a todos los componentes del ROV
Función Principal	E	Se debe tener un visor transparente para la cámara
Montaje	E	El ROV debe ser completamente desarmable para poder acceder a todos los componentes.
Fabricación	E	El ROV deberá poder ser fabricada en talleres de la localidad.
Fabricación	D	La máquina deberá contar con formas constructivas sencillas que permitan su fabricación en el menor tiempo posible
Material	E	Los materiales de la estructura externa deben presentar resistencia a la corrosión por el agua.
ELECTRÓNICA		
Función Principal	E	Interface de la parte de control y potencia
Geometría	E	Las dimensiones de la tarjeta estarán limitada por las medidas del ROV
Señales	E	Señal de Entrada: Comunicación con PC Señal de Salida: Señal de control sobre los actuadores
Seguridad	E	Aislamiento entre etapas de potencia y de control
SENSORES Y ACTUADORES		
Función Principal	E	Se debe contar con un sistema de propulsión que permita que el ROV pueda navegar bajo el nivel del agua.
Función Principal	E	Se utilizará una cámara de video como elemento sensor.
Función	D	Se buscará el mínimo número de actuadores
Geometría	E	La cámara debe ser pequeña
Comunicación	E	La cámara debe poder comunicarse con una PC
Seguridad	E	Los propulsores deben ser acuáticos
Fuerza	E	El empuje generado por los propulsores debe ser capaz de mover al ROV
VISIÓN POR COMPUTADORA		
Función Principal	E	Reconocimiento de características de un objetivo a través de visión por computadora

Categoría	D/E*	Descripción
Función Principal	E	Extracción de características de interés para sistema de control (ángulo y distancia del objetivo)
Señales	E	Señal de entrada: imagen Señal de Salida: ángulo de desviación del objetivo y distancia del objetivo
Seguridad	E	Confiable y estable
Mantenimiento	E	Programación documentada
CONTROL		
Función Principal:	E	Controlar los actuadores para disminuir el error en distancia y ángulo entre el objetivo y el ROV en el modo automático
Función Específica:	E	Establecer un control manual entre el operador y el ROV en el modo manual
Plataforma	E	El sistema de control se implementará en una PC
Señales	E	Señal de Entrada: clasificación de producto Señal de Salida: Señales de control para actuadores para navegación a través de puerto serial.

*D/E: Deseos (D) o Exigencias (E)

Estructura de funciones:

Se definen funciones basadas en la lista de exigencias para las dimensiones en las que se divide el proyecto: mecánica, visión por computadora, electrónica y control y, sensores y actuadores.

Mecánica:

Garantizar impermeabilidad total de la parte interna del ROV.

- Sello para cables
- Sello para eje transmisión
- Sello entre juntas

Dar soporte a todos los componentes del ROV.

Configurar los propulsores para generar el movimiento del ROV

Permitir la visibilidad para la cámara.

Sensores y Actuadores

Generar empuje para propulsión del ROV

Capturar imágenes de video

Electrónica y Control

Comunicar la estación de control con el ROV

Generar señales de control a partir de proceso de visión por computadora

Interpretar las señales de control y generar las señales de control para los actuadores

Manejar los actuadores a partir de las señales de control.

Visión por computadora

Procesar y segmentar imágenes de video

Extraer características de video: Distancia y Ángulo

Matriz Morfológica

Tabla 2: Matriz Morfológica - Mecánica

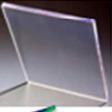
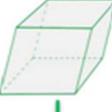
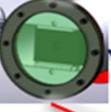
Mecánica				
Funciones Parciales		1	2	3
Impermeabilidad	Material	 Acero Inoxidable	 Nylon	 Polycarbonato
	Forma	 Cilíndrica	 Paralelepípedo	 Disco
	Sello Cables	 Prensaestopa	 Resina	 Retén
	Sello Eje Transmisión	 Prensaestopa	 O-ring	 Retén
	Sello entre Junturas	 Prensaestopa	 O-ring	 Retén
Visibilidad	 Plano	 Cúpula		
Configurar los propulsores	 3 Propulsores	 2 Propulsores c/ giro		
SOLUCION		 1	 2	 3

Tabla 3: Matriz Morfológica – Visión por computadora

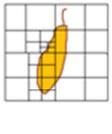
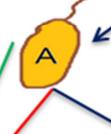
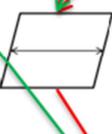
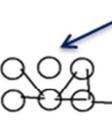
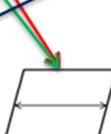
Visión por computadora					
Funciones	S1	S2	S3	S4	S5
División en Espacios de Color	 RGB	 HSI	 YMK	 CMYK	 Escala de grises
Segmentación	 Por Histograma	 Región de Crecimiento	 División de Regiones	 Watershed	 kmedias
Operaciones morfológicas	 Extracción de borde	 Llenado de región	 Dilatación	 Erosión	
Segmentación 2	 Color	 Área	 Textura	 Bounding Box	 Bounding Elipse
Determinación de Distancia	 Relaciones geométricas	 Cruce de características	 Clasificadores Estadísticos	 Redes neuronales	
Determinación Ángulo	 Redes neuronales	 Relaciones geométricas			
SOLUCION	 1	 2	 3		

Tabla 4: Matriz Morfológica – Electrónica y Control

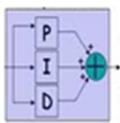
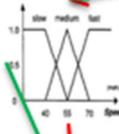
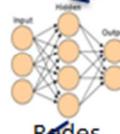
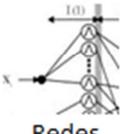
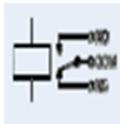
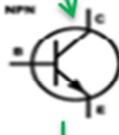
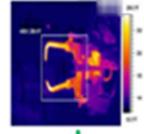
Electrónica y Control						
Funciones Parciales	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Comunicación	Comunicación	 Ethernet	 Serial RS-232	 Serial RS-485	 USB	
Control	Controlador	 PLC	 Microcontrolador	 dsPIC	 FPGA	 PC
	Estrategia de Control	 PID	 Lógica Difusa	 Redes Neuronales	 Redes Neurodifusas	
Interfaz control	Controlador	 PLC	 Microcontrolador	 dsPIC	 FPGA	
Manejador de Actuadores	Aislamiento de señales	 Relé	 Transistor	 Optoacoplador	 Opamp	
	Acondicionamiento de señales para actuadores	 Puente H MOSFET	 Puente H Transistor	 Puente H Integrado		
SOLUCION		 1	 2	 3		

Tabla 5: Matriz Morfológica – Sensores y Actuadores

Sensores y Actuadores

Funciones Parciales		S1	S2	S3	S4
Generar empuje	Propulsor	 Propelas	 Bomba - chorro	 Aletas	
	Accesorio	 Motor DC	 Servo-motor	 Motor a pasos	 Ninguno
Capturar imágenes de video	Cámara	 Cámara analógica + Tarjeta digitalizadora	 Cámara digital USB	 Cámara infrarroja	
	Iluminación	 Dicroico	 LED	 Natural	
SOLUCION		 1	 2	 3	

Evaluación de Conceptos de Solución

Tabla 6: Evaluación de Conceptos de Solución- Criterios Técnicos

Formato de Evaluación de Conceptos de Solución - Criterios Técnicos					
Escala de valores (puntaje entre 0 - 3)					
0= No Satisface, 1= Aceptable 2= Suficiente, 3= Bien					
N°	Criterios Técnicos	Importancia ("i")	Soluciones		
			S1	S2	S3
1	Función	12%	3	3	3
2	Complejidad	12%	2	3	1
3	Lista de exigencias	12%	3	3	3
4	Impermeabilidad	8%	3	3	3
5	Robustez	8%	2	2	3
6	Cinemática	8%	1	2	2
7	Fabricación	8%	1	3	2
8	Montaje	8%	2	3	2
9	Comunicación	8%	3	2	2
10	Seguridad	6%	3	2	3
11	Confiabilidad	5%	2	2	3
12	Estabilidad	5%	1	2	3
	Puntaje Total $PT=\sum p_i(\%)i/100$	100%	2.25	2.6	2.44
	Puntaje Unitario $PU=PT/3$		75%	87%	81%

Tabla 7: Evaluación de Conceptos de Solución- Criterios Económicos

Formato de Evaluación de Conceptos de Solución - Criterios Económicos					
Escala de valores (puntaje entre 0 - 3)					
0= No Satisface, 1= Aceptable 2= Suficiente, 3= Bien					
N°	Criterios Económicos	Importancia ("i")	Soluciones		
			S1	S2	S3
1	Costo de Material	40%	3	2	1
2	Coso de Fabricación	30%	1	3	1
3	Costos de Montaje	30%	2	3	1
	Puntaje Total $PT=\sum p_i(\%)i/100$	100%	2.1	2.6	1
	Puntaje Unitario $PU=PT/3$		70%	87%	33%

Evaluación de Conceptos de Solución

En la figura 1 se realiza un gráfico de “Criterios Técnicos” vs. “Criterios Económicos” con la finalidad de evaluar los conceptos de solución generados a partir de la matriz morfológica.

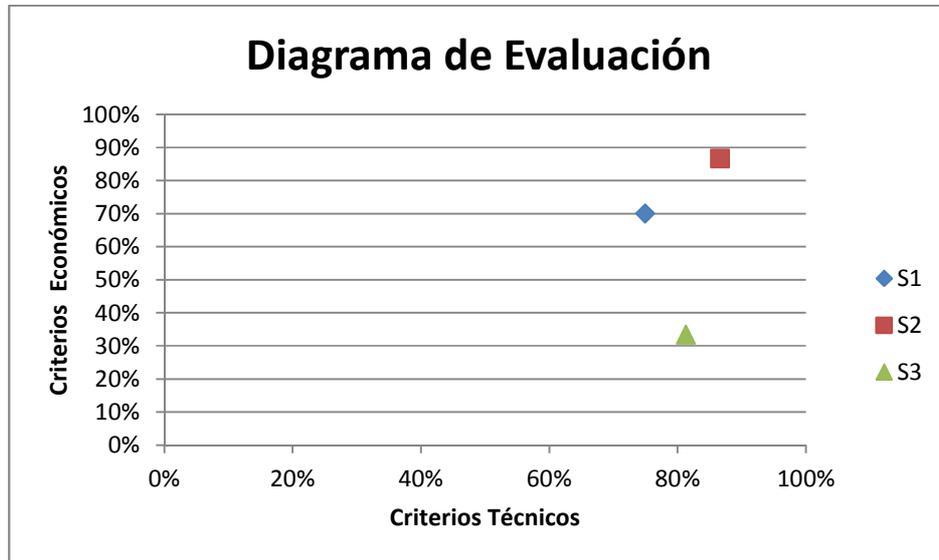


Figura 1: Diagrama de evaluación de conceptos de solución

De acuerdo al diagrama de evaluación de la figura 1 se determina que el concepto de solución que presenta mejor relación entre los compromisos técnicos y económicos es el concepto de solución número 2.

Bosquejo de mejor solución

Se bosqueja el concepto de solución número 2 como punto de partida para el diseño detallado del ROV.

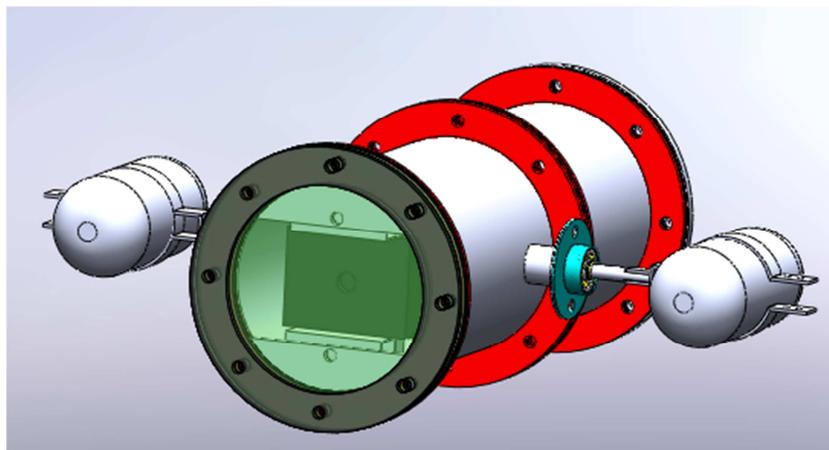


Figura 2: Diagrama de evaluación de conceptos de solución