

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE ROBOT

3.1 DISEÑO GENERAL DEL PROTOTIPO.

El primer paso a dar para desarrollar un robot móvil, es elegir su configuración, esto es, definir su función, forma (geometría), tamaño, peso, dependiendo de los principales elementos que lo componen como: ventosas, motores, válvulas, cilindros u otros componentes necesarios. La efectividad del desplazamiento dependerá en gran medida de la configuración que se le dé según la meta establecida.

3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3.2.1 RANGO, ALCANCE Y ENTORNO DE TRABAJO

Los lugares de acción en los cuales el prototipo será utilizado, deben ser analizados para la previsión de los componentes que se usarán según las tareas a realizar y las condiciones físicas de trabajo.

3.2.1.1 Rango

Es un factor importante a describir, porque son los límites de trabajo, los cuales son el desplazamiento sobre superficies en cualquier dirección, y el método de adherirse a las superficies en contacto.

Aquí se determinan los alcances máximos del robot los cuales se establecerán de acuerdo a los objetivos preestablecidos, donde el desplazamiento es sobre superficies planas y lisas en los ejes coordenados XX, YY del lugar en contacto, y con rugosidades menor o igual que 50% (coeficiente de fricción).

3.2.1.2 Alcance

Es el principal tema del diseño y debe ser definido claramente antes de empezar a determinar el resto de parámetros que estarán involucrados en el desarrollo del prototipo como tal.

Para tener una idea de las funciones que podría realizar el prototipo, se tomará como ejemplo las áreas industriales en las que podría ser utilizado en diferentes actividades: Inspección de tanques de almacenamiento de petróleo o hidrocarburos, tuberías, cascos de buques, fuselajes de aeronaves, estructuras de acero, reconocimiento de lugares inaccesibles que presenten condiciones extremas con niveles altos de toxicidad, temperaturas extremas, falta de oxígeno, inestabilidad del lugar, riesgos de altura (caídas), funciones específicas como recolección y manejo de materiales en forma remota como desactivación o activación de armas y explosivos (tecnología militar), incorporando mecanismos auxiliares como brazos.

Habiendo analizado las diferentes funciones que podría cumplir el prototipo, se decidió que la tarea principal que realizará el robot será la inspección visual de lugares inaccesibles utilizando una cámara de video, teniendo la capacidad de acceder a ellos desplazándose por superficies planas y lisas especialmente en materiales como vidrio y metal.

3.2.2 ENTORNO DE TRABAJO

El escenario natural de esta clase de dispositivos está en ambientes donde las condiciones del lugar varían o presentan zonas de peligro como áreas industriales, laboratorios químicos y explosivos o inspección visual en guerras, censado de zonas con gases tóxicos, o bajo peligro de derrumbes, y en general cualquier tipo de espacio donde la presencia de seres humanos le implique un riesgo.

Es de destacar que los componentes del conjunto se desarrollaran por separado y en forma independiente, lo que implica que no sólo el sistema robótico en su

concepción actual tiene aplicaciones concretas sino que cada una de sus partes pueden ser usadas para conformar cualquier otra nueva aplicación con diferentes prestaciones y características según el entorno de trabajo que se quiera enfocar.

3.2.2.1 Forma

La forma del robot tiene un fuerte impacto en su facilidad al desplazarse, evitar los obstáculos y en mantener su estabilidad. Existen diferentes tipos de robots que varían según su entorno de trabajo, terrestre (patas, ruedas), acuáticos (aletas), aéreos (alas o sistemas de autosustentación), espaciales, en múltiples condiciones físicas y químicas.

3.2.2.1.1 Geometría

Existen varias posibilidades de diseño, por ende varias formas y geometrías, pero para este proyecto se ha optado por una geometría simple, de tipo ortogonal, que disminuya la dificultad de diseño, construcción y no represente un costo demasiado alto.

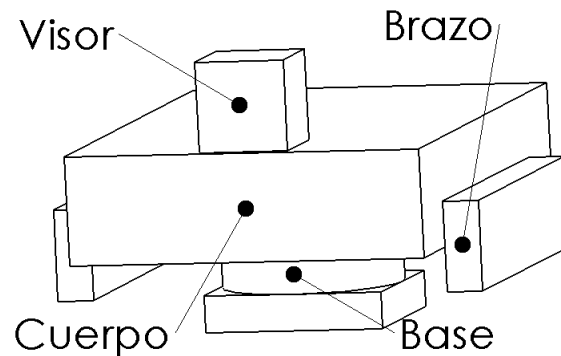


Figura 3.1 Esquema geométrico

3.2.2.1.2 Tamaño y Peso

- Tamaño

Para determinar las dimensiones del prototipo, se debe considerar las circunstancias en que se desenvolverá, siendo estas de difícil acceso, de pendientes pronunciadas, de entornos hostiles, en donde se necesita elementos

de gran estabilidad, livianos, de centro de gravedad bajo, de momento de volteo reducido y que no presente cambios bruscos en su inercia al moverse.

Tomando en cuenta los parámetros anteriores, se pueden establecer unas dimensiones básicas y referenciales, que a medida que avance el diseño se las deberá corregir (ver en la referencia de la figura 3.2).

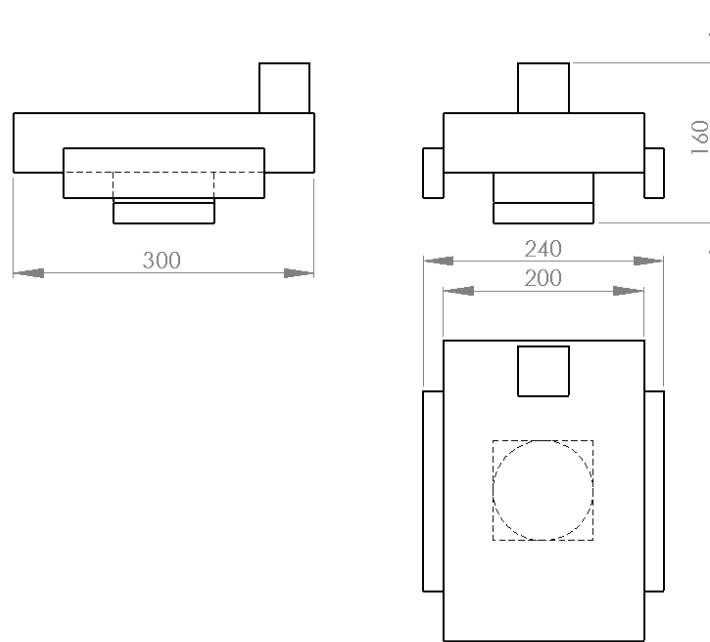


Figura 3.2 Dimensiones generales e iniciales del prototipo

- **Peso**

Dentro de las características determinantes del prototipo, se debe tomar muy en cuenta lo referente a la masa total de este, ya que el peso y las fuerzas producidas por esta masa, constituyen parámetros limitantes.

Estas limitaciones se dan debido a las condiciones de trabajo del prototipo donde el robot podrá desplazarse en paredes con pendientes superiores a 90° e incluso llegando a los 180° , es decir poniéndose sobre cabeza. En la figura 3.3 se indican las posibles posiciones en las que trabajará el robot.

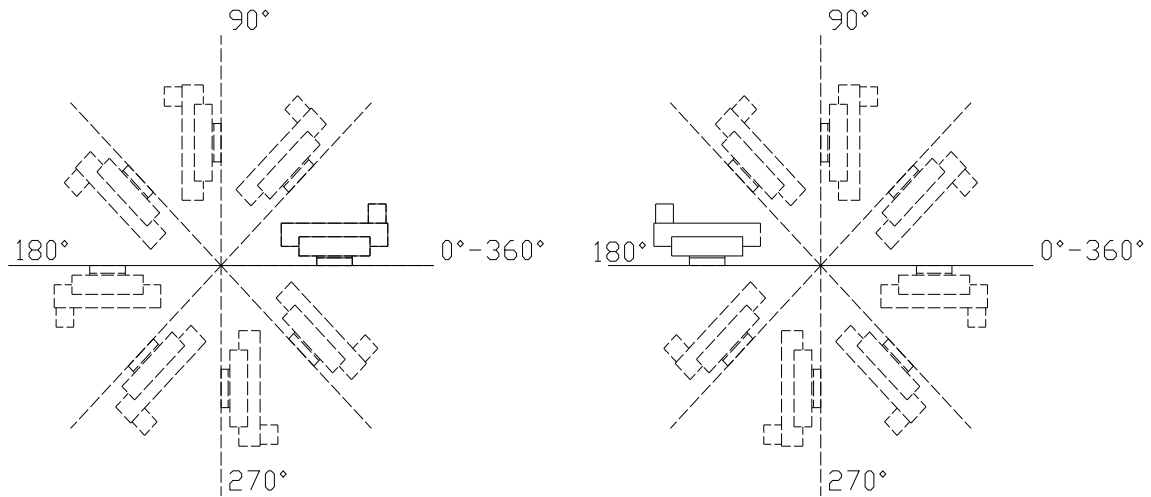


Figura 3.3 Posiciones, pendientes y sus posibles ángulos

Para establecer un peso base aproximado se toma como referencia la geometría de la figura 3.2 y se hace una consideración estableciendo una densidad equivalente a la del aluminio (2.7 gr/cm^3) y al cuerpo no como sólido macizo sino como un cuerpo vaciado con espesor de pared 10mm. En la tabla 3.1 se detallan algunas propiedades físicas del esquema básico del prototipo.

Tabla 3.1 Propiedades físicas del esquema geométrico.

Densidad:	$0.0027000 \text{ gr/mm}^3$
Masa:	<i>5973.1884992 gr</i>
Volumen:	$2212292.0367321 \text{ mm}^3$
Área de superficie:	$422683.1853072 \text{ mm}^3$
Centro de masa:	$X = 0.0000000 \text{ mm}$
	$Y = -4.3393909 \text{ mm}$
	$Z = 38.9559341 \text{ mm}$

Fuente: Modelado en Solid Works 2007(propiedades físicas)

Por lo tanto se tomará en cuenta para el diseño inicial los datos especificados en la tabla 3.1 donde la masa tiene un aproximado de 6000 gr.

3.2.3 MATERIALES

Dentro de los elementos principales en el diseño de un prototipo, se encuentran los materiales con los que se fabricará, para esto debemos entender su comportamiento general y sus capacidades, y reconocer los efectos del ambiente y de las condiciones de operación sobre el rendimiento de los materiales. Para la selección se establecen tres factores importantes: propiedades mecánicas, peso y costo.

3.2.3.1 Propiedades Mecánicas

En ingeniería se necesita saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas exteriores como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura. Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la deformación plástica y la fatiga, que se definen más adelante.

La tensión es una fuerza que tira; por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cable que sostiene un peso. Bajo tensión, un material suele estirarse, y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico del material (véase Elasticidad). Bajo tensiones mayores, el material no vuelve completamente a su situación original, y cuando la fuerza es aún mayor, se produce la ruptura del material.

La compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. Cuando se somete un material a una fuerza de flexión, cizalladura o torsión, actúan simultáneamente fuerzas de tensión y de compresión. Por ejemplo, cuando se flexiona una varilla, uno de sus lados se estira y el otro se comprime. La deformación plástica es una deformación permanente gradual causada por una fuerza continuada sobre un material. Los materiales sometidos a altas temperaturas son especialmente vulnerables a esta deformación. La pérdida de

presión gradual de las tuercas, la combadura de cables tendidos sobre distancias largas o la deformación de los componentes de máquinas y motores son ejemplos visibles de plastodeformación. En muchos casos, esta deformación lenta cesa porque la fuerza que la produce desaparece a causa de la propia deformación. Cuando la plastodeformación se prolonga durante mucho tiempo, el material acaba rompiéndose.

La fatiga puede definirse como una fractura progresiva. Se produce cuando una pieza mecánica está sometida a un esfuerzo repetido o cíclico, por ejemplo una vibración. Aunque el esfuerzo máximo nunca supere el límite elástico, el material puede romperse incluso después de poco tiempo. En algunos metales, como las aleaciones de titanio, puede evitarse la fatiga manteniendo la fuerza cíclica por debajo de un nivel determinado. En la fatiga no se observa ninguna deformación aparente, pero se desarrollan pequeñas grietas localizadas que se propagan por el material hasta que la superficie eficaz que queda no puede aguantar el esfuerzo máximo de la fuerza cíclica. El conocimiento del esfuerzo de tensión, los límites elásticos y la resistencia de los materiales a la plastodeformación y la fatiga son extremadamente importantes en ingeniería.

La línea a seguir deberá considerar la resistencia a caídas y golpes, corrosión y desgaste, maquinabilidad, y estar constituidos de materiales puros y compuestos como, aluminio, acero, acrílico, plásticos, etcétera. Proporcionando a cada componente del robot ser parte de un sistema confiable.

3.2.3.2 Peso

El peso del material, está en función de las características físicas y químicas, como la densidad, peso atómico. Considerando así tipos de materiales como: metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos.

3.2.3.3 Costo

Dentro de un proyecto el factor costo es uno de los principales limitantes para iniciar o terminarlo. Los factores que afectan son la disponibilidad en el mercado, procesos de maquinado, ensamble, calidad del material, soldabilidad y características especiales. Los recursos económicos disponibles orientan a elegir el material más adecuado para el robot.

Por lo tanto se debe determinar el tipo de material para los elementos del robot dependiendo de la combinación de las tres características ya mencionadas y de la aplicación del robot.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA SECUENCIA DE MOVIMIENTOS.

Para poder determinar los movimientos del robot, hay que elegir el tipo de robot consecuentemente la forma como se la indicó anteriormente, así que nos orientaremos al tipo terrestre de apoyo en patas. Se establece así la topología del mecanismo, el cual engloba aspectos de su configuración geométrica para generar movimiento.

Se establece entonces el patrón de movimientos, el conjunto contiguo de puntos que entran en contacto con el suelo se llama pie, cada pie puede rotar (**R**) como una rueda o en este caso hacer vaivén (**V**) como un gusano, otro componente será el tipo de contacto que realiza el pie con el suelo. Si nunca pierde el contacto es continuo (**C**) este caso puede darse en las ruedas y orugas ya que nunca pierden contacto con el piso (o no al menos voluntariamente), y discreto (**D**) son los que si pierden el contacto en algún instante como las arañas, el tamaño se lo determina por el número de pies de apoyo puede ser pequeño (**P**) si siempre son necesarios tres pies para mantener el equilibrio y su centro de gravedad (este dentro del polígono de apoyo), o si son necesarios dos o más puntos de apoyo de un pie es de tipo grande (**G**).

Al analizar lo anterior, vemos que el robot a diseñar cae en una configuración **VDG**, donde los de tipo V son complicados de construir, D el movimiento no es suave, y G determinar el centro de gravedad más bajo para lograr estabilidad.

3.3.1 GRADO DE LIBERTAD

En la descripción del movimiento de las estructuras, o de los objetos, un grado de libertad es uno de los varios componentes ortogonales que se pueden usar para caracterizar completamente el movimiento. Por ejemplo, un objeto libre en el espacio tiene seis grados de libertad diferentes: se puede trasladar en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Cualquier movimiento del objeto, no importa que tan complejo sea, se puede resolver en esos 6 movimientos básicos.

Algunos objetos pueden no tener esos seis grados de libertad disponibles. Por ejemplo, un elevador en un cubo de elevador está limitado a un grado de libertad. Cuando se describe el movimiento de una estructura compleja, varias partes pueden estar limitadas de varias maneras, y un gran número de grados de libertad pueden ser necesarios para describir completamente el movimiento general del robot. En este punto se analiza la cinemática, la cual consiste en el estudio del movimiento sin consideración de las fuerzas, determinando la movilidad con los grados de libertad del robot.

3.3.2 CADENA CINEMÁTICA

Para determinar el desplazamiento de un mecanismo es necesario determinar la cadena cinemática donde los elementos que constituyen el robot pueden formar un circuito, cerrado teniendo así una cadena cerrada (mecanismo biela-manivela), de no ser así tenemos una cadena cinemática abierta (retroexcavadora, brazo o pata robótica, etc.).

3.3.3 PAR CINEMÁTICO

Es la unión entre dos barras, que dan un movimiento relativo con determinadas características debido a la forma que impone esta unión, clasificándose en pares inferiores o de contacto superficial, como: un par o junta de rotación (1 grado de libertad), par prismático (1 grado de libertad), par cilíndrico (2 grados de libertad), par de rotula (3 grados de libertad), par plano (3 grados de libertad), par helicoidal o de tornillo (1 grado de Libertad) y en pares superiores o de contacto lineal o puntual, como pin en ranura (2 grado s de libertad), par de leva (2 grados de libertad), en conclusión al determinar el desplazamiento se deberá tomar en cuenta los aspectos antes mencionados para escoger la cadena y los pares cinemáticos adecuados.

El robot caminante tendrá dos tipos de movimientos, translación y rotación pura. El análisis de los grados de libertad de cada eslabón, cuerpo sólido y elemento, se los analizará en el siguiente capítulo, para determinar así los grados de libertad total del sistema

3.3.4 TRANSLACIÓN Y ROTACIÓN

Los movimientos combinados de translación y rotación dan un desplazamiento sobre el plano X-Y, y el giro sobre un mismo punto cualquiera A o B en el eje Z, en la figura 3.4 se describe un recorrido compuesto, esto debe hacerlo para realizar la inspección o tareas en lugares específicos controlado de forma remota.

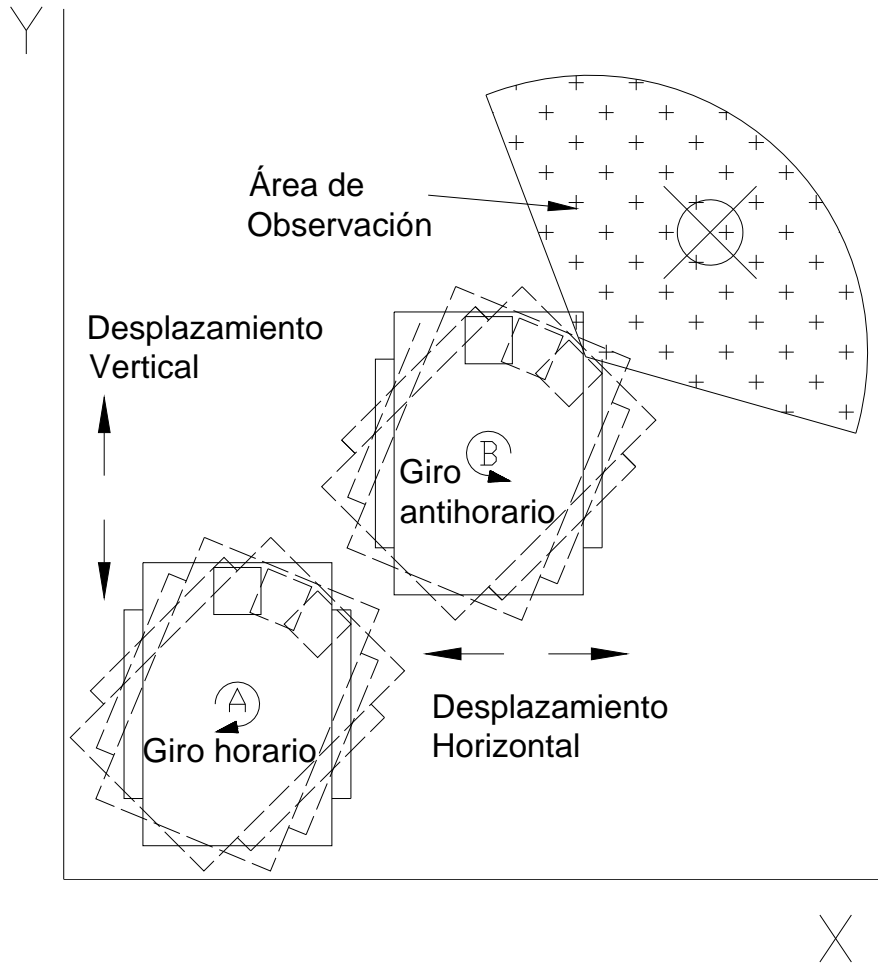


Figura 3.4 Movimientos de rotación y traslación para llegar a un punto

El movimiento de translación, determinado anteriormente se lo visualiza desde otro plano Y-Z (ver figura 3.5), se muestra los dos sentidos en los cuales el robot debe desplazarse. Encontrando aquí la posibilidad de adaptar mecanismos independientes para moverse vertical y horizontal, o que con un par superior de contacto lineal lo haga simultáneamente (pin de ranura o seguidor corredera) y también actuadores de desplazamiento y giro como cilindros neumáticos, hidráulicos, motores eléctricos, electroimanes, etc.

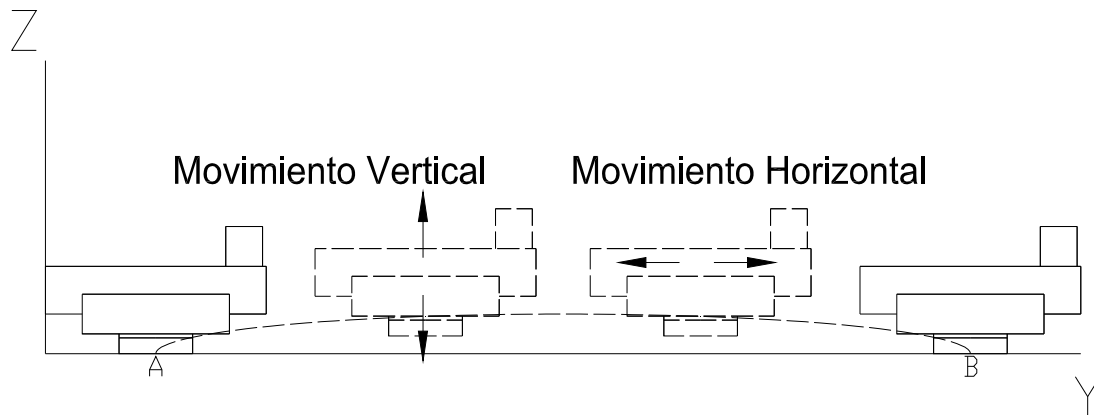


Figura 3.5 Movimientos de traslación en los ejes Y-Z

3.4 PRESELECCIÓN DE ELEMENTOS.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS.

Los actuadores neumáticos como eléctricos, para este caso en particular permitirán generar movimiento y vacío. Por lo cual se debe crear una lista de las posibilidades de los elementos y dispositivos a utilizar.

Tabla 3.2 Elementos de impulsión y control

Movimiento lineal			
No.	Nombre	Característica	Uso
1	Cilindro Simple Efecto	Neumático	Se puede utilizar para generar el movimiento longitudinal, pero tiene limitaciones en cuanto al muelle de retorno
2	Cilindro Doble Efecto	Neumático	Se puede utilizar para generar el movimiento longitudinal, con la ventaja de que puede generar la misma fuerza en los dos sentidos y ésta puede ser controlada al igual; que la velocidad

Tabla 3.2 Elementos de impulsión y control (continuación)

3	Mecanismo biela-manivela	Mecánico	Genera un movimiento lineal, pero de recorrido limitado, además de un elevado peso y varios componentes adicionales
4	Actuadores Magnéticos	Electro-Mecánico	Genera movimiento lineal, pero sin control de su velocidad de desplazamiento
5	Motores Lineales	Electro-Mecánico	Movimiento lineal precisión de movimiento para microbótica, maquinas y herramientas de alta velocidad.
6	Sistema de poleas	Mecánico	Genera movimientos lineales verticales y mueven grandes pesos
7	Piñón Cremallera	Mecánico	Se usa en mecanismos para transmisión de fuerza y movimiento, se debe tener en cuenta el peso y el tamaño.
Movimiento rotacional			
No.	Nombre	Característica	Uso
1	Actuador rotatorio	Neumático, mecánico	Giro en ángulos de 0° a +180°
2	Servo Motor DC	Electro-mecánico	Giro en ángulos entre 0° y ± 180°
3	Motor DC	Eléctro-mecánico	Giro n grados horario y antihorario con conexión H
4	Actuador solenoide piñón cremallera	Electro-mecánico	Utilizan el principio de la atracción electromagnética para producir el movimiento y girar un eje usado en rectificadoras longitudinales

Tabla 3.2 Elementos de impulsión y control (continuación)

5	Motor de aire (Turbina)	Neumático mecánico	Sus aplicaciones es el control de válvulas de cierre en las tuberías para líquidos, y para giros a altas velocidades de herramientas neumáticas
Tracción			
No.	Nombre	Característica	Uso
1	Magneto (Imán)	Electro-magnético	Adherirse sobre superficies metálicas compuestas de hierro
2	Ventosa	Neumático	Adhesión a superficies uniformes no porosas
3	Rueda	Fricción	En casi todos los robots terrestres fácil de diseñar
4	Garra	-	Sujeción a superficies porosas
5	Módulo	Electro-magnético y mecánico	Configuración dinámica de robots pueden acoplarse uno con otro y cambiar su forma, de una oruga cerrada a un gusano o una araña. Para desplazarse sobre cualquier superficie según sea conveniente la tracción, cada configuración se puede cambiar automáticamente.
Señal			
No.	Nombre	Característica	Uso
1	Sensor de Posición	Magnético	Posiciona la distancia requerida para recorrer, datos en forma digital
2	Sensor de contacto	Mecánico-eléctrico (rodillo)	Posiciona la distancia requerida para recorrer, datos en forma digital

Tabla 3.2 Elementos de impulsión y control (continuación)

3	Sensor Láser	Óptico	Precisión al medir longitudes y distancias
4	Encoder	Electro-mecánico	Mide longitud haciendo contacto con el objeto a medir (señal analógica), como cortes de metal a medida
5	Sensor Acústico	Sonar	Detectar posiciones, distancias y muestra la medición hecha
Control			
No.	Nombre	Característica	Uso
1	DAQ	Electrónico	Adquisición de datos y control de sistemas
2	PLC	Electrónico	Forma parte de procesos donde realiza acciones con circuitos programables según datos o señales adquiridas
3	Contactores (relé)	Eléctrico	Abre y cierra contactos según se lo consigne
4	PIC	Electrónico	Circuito integrado programable que realiza operaciones como un computador está presente en la mayoría de sistemas electrónicos

Las fuentes de energía a utilizar son la eléctrica y la neumática para activar y accionar elementos como actuadores eléctricos electrónico y neumáticos.

La estructura debe ser la más versátil para poder ensamblarse y permitir el acople de los actuadores neumáticos y eléctricos, los elementos de control como válvulas, sensores y demás accesorios que se vaya a usar el robot por lo tanto existen varias configuraciones de materiales que se pueden usar para alcanzar

propiedades mecánicas adecuadas de peso-resistencia, maquinabilidad, resistencia a la corrosión, etcétera (véase tabla 3.3).

Tabla 3.3 Materiales para estructura de robots

Estructura			
Material	Características	Lugar	Observación
Orgánico	Biodegradable, madera, fibras	Cuerpo base, extremidades	Baja confiabilidad en el trabajo, fácil de maquinar
Metálico	Sustancias inorgánicas, disposición cristalina ordenada, hierro, cobre níquel, aluminio y titanio	Cuerpo base, extremidades	Alto rendimiento gracias a avances tecnológicos, combinación con otros materiales, precio y disponibilidad en el mercado favorables
Polímero	Cadenas de moléculas orgánicas, variación de resistencia y ductibilidad, plásticos y elastómeros	Cuerpo base, extremidades o recubrimiento	Se hace una matriz para cada pieza, buena resistencia a la corrosión, punto de fusión bajo.
Cerámico	Materiales inorgánicos, resisten alta dureza y altas temperaturas, aislante, fragilidad mecánica.	Recubrimiento	Se usan en enlosados cerámicos, para vehículos espaciales
Compuesto	Mezcla de dos o más materiales, fibrosos, epóxicos, resinas	Cuerpo base, extremidades o recubrimiento	Combinaciones como aluminio (núcleo) en matriz de acrílico

Los accesorios son importantes y se deberán elegir según el elemento o elementos que se hayan determinado en el apartado 3.4.2 tomando también en cuenta la protección del sistema como manómetros, filtros, lubricantes etc.

3.4.2 MATRIZ DE DECISIÓN.

La toma de decisiones racionales convenientes, se las realiza mediante el cálculo analítico, permitiéndonos escoger bien. Se debe plantear alternativas de solución, analizar y seleccionar la mejor alternativa. Cabe destacar los atributos que se debe tener como son el conocimiento, criterio y sentido común, siendo todas estas observaciones de nivel técnico.

Tabla 3.4 Matriz de decisión para un actuador lineal

		Movimiento Lineal						
		Cil. Simple Efecto	Cil. Doble Efecto	Mec. Biela Manivela	Actuador Magnético	Motor Lineal	Polea	Piñón Cremallera
Factor	Actuador							
1	Costo	7	6	8	2	0	9	8
2	Accesorios	8	8	6	8	7	8	5
3	Control del movimiento	6	10	7	10	10	3	7
4	Disponibilidad en el mercado	10	10	0	3	3	10	3
5	Material y peso	10	10	2	7	7	6	2
6	Tamaño y Geometría	9	9	7	7	8	8	9
7	Fuerza generada	7	7	9	8	8	9	10
8	Longitud de desplazamiento	7	7	4	8	8	10	8
9	Mantenimiento	9	9	6	9	9	5	6
Totales		73	76	49	62	60	68	58

Los valores de cada celda varían de 0-10, por ejemplo la relación entre el Control de movimiento y Cilindro de Simple Efecto el valor es 6, porque se analizó que al regresar al Punto Muerto Inferior (PMI) o inicial debe tener la misma velocidad que tuvo cuando alcanzó el Punto Muerto Superior (PMS), y la

confiabilidad para el retorno a la posición deseada dependería de la fuerza de restitución del resorte la cual disminuye con el uso tanto en el cilindro como en la válvula, también la posición inicial está limitada a una sola posición mientras no tenga presión de aire comparada con las características del cilindro de doble efecto. La Disponibilidad en el Mercado y el Mecanismo Biela Manivela tiene 0 porque hay que construirlo (tabla 3.4)

Tabla 3.5 Matriz de decisión para un actuador rotacional

Movimiento Rotacional						
Factor		Actuador				
		Actuador Rotatorio	Servo Motor	Motor DC	Solenoide piñón cremallera	Motor de Aire
1	Costo	0	8	10	0	1
2	Accesorios	5	7	10	5	5
3	Control del movimiento	3	9	1	10	0
4	Disponibilidad en el mercado	4	10	10	2	4
5	Material y peso	5	10	9	3	6
6	Tamaño y Geometría	6	10	9	5	5
7	Fuerza generada	7	8	10	10	2
8	Angulo de giro	4	9	10	8	3
9	Mantenimiento	3	10	10	1	3
Totales		37	81	79	44	29

Los actuadores rotacionales o de giro, tienen factores como el costo, ángulo de giro y peso que fueron los que determinaron que el actuador eléctrico Servo Motor DC sea el que reúne características adecuadas para seleccionarlo ver detalles en la tabla 3.5

Tabla 3.6 Matriz de decisión para la tracción del robot

		Tracción					
		Actuador	Magneto	Ventosa	Rueda	Garra	Modulo
Factor							
1	Costo	6	9	3	4	3	
2	Accesorios	9	6	4	3	5	
3	Control de accionamiento	10	10	5	3	8	
4	Disponibilidad en el mercado	7	10	9	0	1	
5	Material y peso	6	10	7	9	10	
6	Tamaño y Geometría	10	7	8	5	10	
7	Fuerza de tracción	10	6	8	6	5	
8	Factibilidad de servicio	4	9	2	1	4	
9	Mantenimiento	8	9	9	5	4	
Totales		70	76	55	36	50	

Para la selección del sistema de tracción adecuado para el prototipo se tomaron en cuenta factores determinantes como el peso, la factibilidad de servicio y la fuerza de tracción, además del costo. Reuniendo todos estos factores, la opción más adecuada es la de las ventosas de vacío, las cuales tienen la fuerza de tracción necesaria, además de que tienen bajo costo y excelente factibilidad de servicio. Ver detalles en la Tabla 3.6

Tabla 3.7 Matriz de decisión para los sensores

		Sensores				
		Sensor Magnético	Sensor Rodillo	Sensor Láser	Encoder	Sensor Sónico
Factor	Sensor					
1	Costo	7	10	3	2	5
2	Accesorios	10	10	10	10	10
3	Precisión	8	4	10	9	10
4	Disponibilidad en el mercado	10	10	5	1	3
5	Material y peso	10	8	7	8	8
6	Tamaño y Geometría	10	8	8	8	8
7	Acondicionamiento	9	9	4	5	4

Tabla 3.7 Matriz de decisión para los sensores (continuación)

8	Factibilidad de servicio	10	10	5	6	5
9	Mantenimiento	9	5	6	4	9
Totales		83	74	58	53	62

Para que el mecanismo tome señales en el proceso, se colocan sensores en lugares específicos, cumpliendo así con la función de obtener datos y determinar posiciones, en este caso se tomo en cuenta a cinco sensores que nos permiten en alguna forma ubicar posiciones siendo en este caso el sensor magnético por sus características y factores dados en la tabla 3.7

Tabla 3.8 Matriz de decisión para los controladores

		Control				
		Controlador	DAQ	PLC	PIC	Relé
Factor						
1	Costo	1	5	8	10	
2	Accesorios	2	6	8	10	
3	Software de control	5	5	5	10	
4	Disponibilidad en el mercado	1	8	10	10	
5	Material y peso	4	5	10	3	
6	Tamaño y Geometría	3	5	10	7	
7	Acondicionamiento	4	4	6	6	
8	Flexibilidad	10	10	10	4	
9	Factibilidad de servicio	10	10	10	10	
10	Mantenimiento	10	10	10	10	
Totales		50	68	87	80	

En la tabla 3.8 se determinó al PIC como una solución de control muy adecuada debido a algunos factores importantes como la flexibilidad, factibilidad de servicio, tamaño.

Tabla 3.9 Matriz de decisión para los materiales de la estructura

		Estructura			
		Material	Orgánico	Metálico	Polímero
Factor					
1	Costo	10	8	5	6
2	Propiedades Mecánicas	5	10	8	10
3	Maquinabilidad y costo	10	7	6	6
4	Disponibilidad en el mercado	10	10	9	7
5	Peso	9	8	10	9
6	Propiedades Físicas y Químicas	3	8	8	8
9	Mantenimiento	5	9	10	9
Totales		52	60	56	55

La estructura puede variar en su forma y composición por ende los materiales de los que estará compuesto, de los cuatro materiales expuestos en la tabla 3.9 el que no reúne factores para las condiciones y requerimientos para este proyecto es el orgánico, por lo tanto se utilizará materiales metálicos, polímeros y compuestos.

3.5 Identificación de factores críticos de operación.

Factores críticos de operación, son los límites en los cuales se garantiza el funcionamiento del prototipo, siendo estos ambientales físico y químicos, superficies de contacto, cambios de planos para desplazarse.

3.5.1 Desplazamiento sobre superficies irregulares.

El Prototipo está pensado para funcionar sobre superficies planas y lisas. Tomando en cuenta la rugosidad de la superficie y la fuerza de rozamiento entre esta y la ventosa, pero se debe determinar los tipos de irregularidades posibles y rugosidades en las que se puede trabajar con una configuración adecuada de ventosa-superficie como se ve en la tabla 3.9, los coeficientes de rozamiento, deben ser vistos solo como valores aproximados. Los valores precisos

dependen no tan solo de los dos materiales en contacto, sino de sus características como:

- Diámetro de la ventosa
- Tipo de ventosa
- Presión por unidad de superficie
- Temperatura
- Superficie de contacto

Si la superficie de la pieza está húmeda o aceitosa, el coeficiente de rozamiento puede bajar hasta un valor 0.1 a 0.4

Tabla 3.10 Detalle de coeficientes de rozamiento entre ventosas y el material de las superficies

	Material de la Ventosa	Material de la Superficie	Coef. min.	Coef. máx.	Coef. típico
1	Silicona	Plástico	0.3	0.6	0.45
2	Silicona	Goma dura	0.45	0.7	0.6
3	Silicona	Aglomerado	0.4	0.65	
4	Silicona	Cartón	0.4	0.65	0.5
5	Silicona	Papel de lija 120	0.55	0.9	
6	Poliuretano	Plástico	0.55	0.8	0.65
7	Poliuretano	Goma dura	0.85	1.25	1
8	Poliuretano	Aglomerado	0.55	0.8	
9	Poliuretano	Cartón	0.45	1	0.7
10	Poliuretano	Papel de lija 120	0.7	1.2	
11	Caucho de Nitrilo (NBR)	Plástico	0.55	1.05	0.7
12	Caucho de Nitrilo (NBR)	Goma dura	0.75	1.25	0.8

Tabla 3.10 Detalle de coeficientes de rozamiento entre ventosas y el material de las superficies (continuación)

13	Caucho de Nitrilo (NBR)	Aglomerado	0.6	1.05	
14	Caucho de Nitrilo (NBR)	Cartón	0.6	0.8	0.75
15	Caucho de Nitrilo (NBR)	Papel de lija 120	1	1.4	
16	Neopreno	Plástico			0.8
17	Neopreno	Goma dura			0.8
18	Neopreno	Cartón			0.7
19	Fluoro Rubber	Plástico			0.65
20	Fluoro Rubber	Goma dura			0.7
21	Fluoro Rubber	Cartón			0.55
22	Silicona	Superficie aceitosa			0.1
23	Poliuretano	Superficie aceitosa			0.1
24	Caucho de Nitrilo (NBR)	Superficie aceitosa			0.1
25	Neopreno	Superficie aceitosa			0.1
26	Fluoro Rubber	Superficie aceitosa			0.1
27	Silicona	Superficie húmeda	0.2	0.3	
28	Poliuretano	Superficie húmeda	0.2	0.3	
29	Caucho de Nitrilo (NBR)	Superficie húmeda	0.2	0.3	
30	Neopreno	Superficie húmeda	0.2	0.3	
31	Fluoro Rubber	Superficie húmeda	0.2	0.3	
32	Silicona	Madera			0.5
33	Poliuretano	Madera			0.5
34	Caucho de Nitrilo (NBR)	Madera			0.5
35	Neopreno	Madera			0.5

Tabla 3.10 Detalle de coeficientes de rozamiento entre ventosas y el material de las superficies (continuación)

36	Fluoro Rubber	Madera			0.5
37	Silicona	Metal			0.5
38	Poliuretano	Metal			0.5
39	Caucho de Nitrilo (NBR)	Metal			0.5
40	Neopreno	Metal			0.5
41	Fluoro Rubber	Metal			0.5
42	Silicona	Vidrio			0.5
43	Poliuretano	Vidrio			0.5
44	Caucho de Nitrilo (NBR)	Vidrio			0.5
45	Neopreno	Vidrio			0.5
46	Fluoro Rubber	Vidrio			0.5
47	Silicona	Piedra			0.5
48	Poliuretano	Piedra			0.5
49	Caucho de Nitrilo (NBR)	Piedra			0.5
50	Neopreno	Piedra			0.5
51	Fluoro Rubber	Piedra			0.5
52	Silicona	Superficie rugosa			0.6
53	Poliuretano	Superficie rugosa			0.6
54	Caucho de Nitrilo (NBR)	Superficie rugosa			0.6
55	Neopreno	Superficie rugosa			0.6
56	Fluoro Rubber	Superficie rugosa			0.6

Fuente: Software Festo selección de vacío, tabla comparativa de coeficientes de fricción

3.5.2 TIPOS DE AMBIENTES.

Los ambientes a considerar para el diseño en los que el prototipo puede movilizarse pueden ser: partículas tóxicas (perdida de visibilidad) en suspensión

como gases y químicos, temperaturas desde 10° C hasta 35° C y se debe tener en cuenta los puntos de fusión de todos los elementos del robot, humedad y presencia de líquidos, partículas sólidas polvos y gránulos de hasta 0.1mm de diámetro, vibración con frecuencias bajas, (los datos que se obtengan en las pruebas del capítulo VIII determinarán las limitaciones reales de trabajo en estos ambientes)

Los tipos de ambientes cambian las características y funcionabilidad del robot como por ejemplo el DANTE II desarrollado en Carnegie Mellon University (CMU), que utilizaron en Julio de 1994 para la exploración del volcán del Monte Spurr en Alaska, proyecto subvencionado por la NASA. Se trata de un robot de 8 patas, con un sistema de locomoción denominado *framewalker*, caracterizado por el desplazamiento de dos planos paralelos a la superficie, cada uno dotado de 4 patas que pueden subir y bajar. El movimiento es estáticamente estable.



Figura 3.6 Dante II descendiendo al interior del Cráter del Monte Spurr

Se diseñó específicamente para descender al volcán y obtener datos para su posterior análisis científico. Utilizó para ello una cuerda, que une al robot con la cima del volcán, y que le permite controlar el descenso (como si estuviese haciendo rapel). Este robot no es totalmente autónomo, está telecontrolado, aunque es capaz de realizar algunas acciones por su cuenta. Los operadores se encontraba a 120Km de distancia, recibiendo la información vía satélite. El robot estuvo operativo durante 5 días, en unas condiciones adversas (altas temperaturas y presencia de gases tóxicos) y un terreno muy escarpado. Los objetivos de la misión fueron:

- Descender al interior del cráter
- Recolectar y enviar datos del interior
- Realizar toda la operación sin necesidad de presencia humana

3.5.3 CAMBIO DE PLANO

Al desplazarse por una superficie plana como se muestra en la figura 3.7 y luego tratar de cambiar a uno adyacente es una de las principales limitaciones del robot, aunque es posible mediante diferentes sistemas de mecanismos; el diseño del prototipo se lo particulariza solo para un plano y no podrá cambiar de planos comprendidos entre aristas automáticamente.

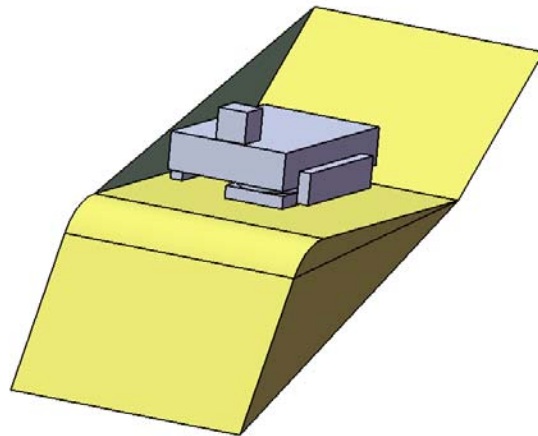


Figura 3.7 Modelo de planos adyacentes e inclinación en cada arista, a los que el robot no accederá automáticamente en este diseño.

3.5.4 ROZAMIENTO

La mayoría de las superficies, aún las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. Los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto (el área de la base del bloque). El área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) que será en nuestro caso la fuerza de succión por vacío, ya que los picos se deforman.

Los metales tienden a fusionarse en frío, debido a las fuerzas de atracción que unen a las moléculas de una superficie con las moléculas de la otra. Estas soldaduras o uniones parciales tienen que romperse para que el deslizamiento se produzca. Además, existe siempre la incrustación de los picos con los valles, este es el origen del rozamiento estático.

Cuando el cuerpo se desliza sobre el plano, los enlaces se rompen y se rehacen constantemente. Pero la cantidad de uniones que haya en cualquier momento se reduce por debajo del valor estático, de modo que el coeficiente de rozamiento cinético es menor que el coeficiente de rozamiento estático.

La existencia lubricantes como aceite o grasa en las superficies en contacto evita los embonamientos al revestirlas de un material inerte.

La explicación de que la fuerza de rozamiento es independiente del área de la superficie aparente de contacto es la siguiente:

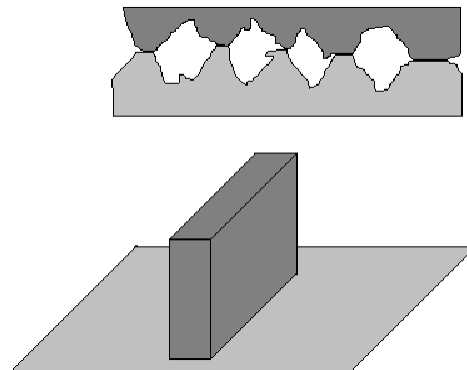


Figura 3.8 Detalle de crestas y embonamiento entre dos superficies

En la figura 3.8, la superficie más pequeña de un bloque está situada sobre un plano. En el dibujo situado arriba, vemos un esquema de lo que se vería al microscopio: grandes deformaciones de los picos de las dos superficies que están en contacto. Por cada unidad de superficie del bloque, el área de contacto real es relativamente grande (aunque esta es una pequeña fracción de la superficie aparente de contacto, es decir, el área de la base del bloque).

3.5.4.1 LA FUERZA NORMAL

La fuerza normal, reacción del plano o fuerza que ejerce el plano sobre el bloque depende del peso del bloque, la inclinación del plano y de otras fuerzas que se ejerzan sobre el bloque.

Supongamos que un bloque de masa m está en reposo sobre una superficie horizontal, las únicas fuerzas que actúan sobre él son el peso mg y la fuerza y la fuerza normal N . De las condiciones de equilibrio se obtiene que la fuerza normal N es igual al peso mg

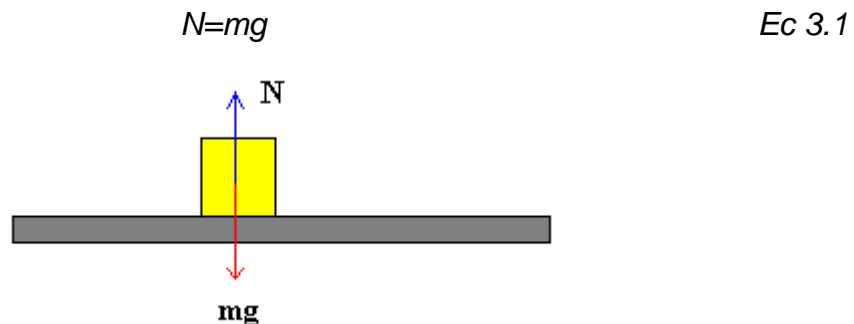


Figura 3.9 Diagrama de cuerpo libre en superficie horizontal

Si ahora, el plano está inclinado un ángulo θ , el bloque está en equilibrio en sentido perpendicular al plano inclinado por lo que la fuerza normal N es igual a la componente del peso perpendicular al plano, $N=mg \cdot \cos \theta$

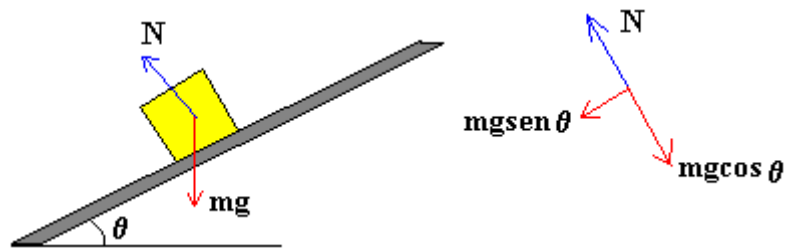


Figura 3.10 Diagrama de cuerpo libre en superficie inclinada

Consideremos de nuevo el bloque sobre la superficie horizontal. Si además atamos una cuerda al bloque que forme un ángulo θ con la horizontal, la fuerza normal deja de ser igual al peso. La condición de equilibrio en la dirección perpendicular al plano establece $N + F \cdot \text{sen } \theta = mg$

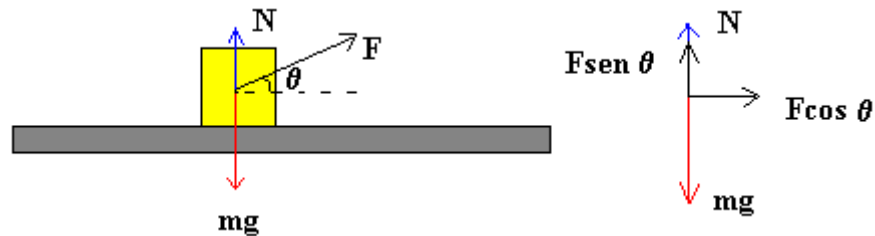


Figura 3.11 Diagrama de cuerpo libre con fuerza en ángulo θ

3.5.4.2 Fuerza de rozamiento por deslizamiento

En la figura, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso mg , la fuerza normal N que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual desliza. Si el bloque desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k .

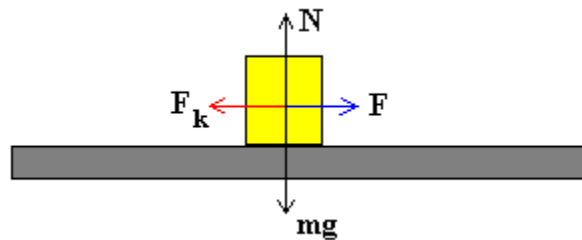


Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre con fuerza de rozamiento con deslizamiento

Podemos investigar la dependencia de F_k con la fuerza normal N . Veremos que si duplicamos la masa m del bloque que desliza colocando encima de éste otro igual, la fuerza normal N se duplica, la fuerza F con la que tiramos del bloque se duplica y por tanto, F_k se duplica. La fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k es proporcional a la fuerza normal N .

$$F_k = \mu_k N$$

Ec 3.2

La constante de proporcionalidad μ_k es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético.

El valor de μ_k es casi independiente del valor de la velocidad para velocidades relativas pequeñas entre las superficies, y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta.

3.5.4.3 Fuerza de rozamiento estático

También existe una fuerza de rozamiento entre dos objetos que no están en movimiento relativo.

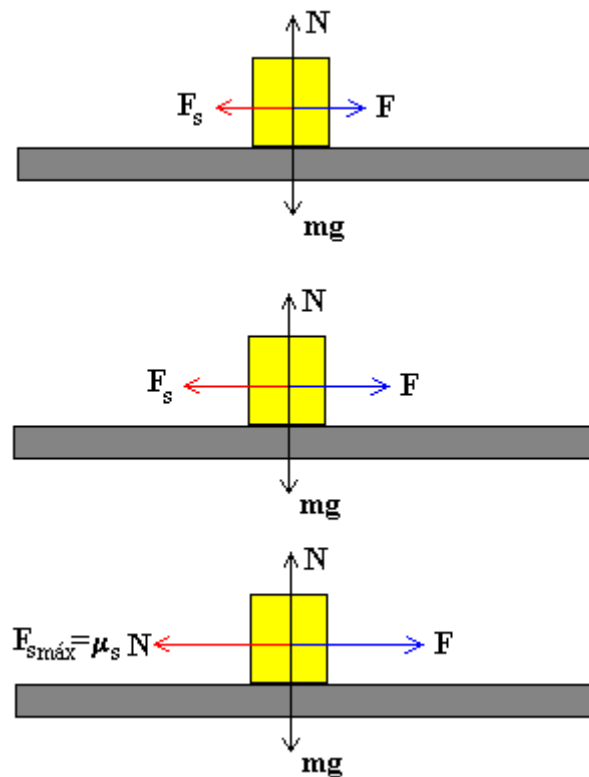


Figura 3.13 Diagrama de cuerpo libre con fuerza de rozamiento estático

Como vemos en la figura, la fuerza F aplicada sobre el bloque aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento F_s .

$$F = F_s \quad \text{Ec 3.3}$$

La máxima fuerza de rozamiento corresponde al instante en el que el bloque está a punto de deslizar.

$$F_{s\text{ máx}} = \mu_s N$$

Ec. 3.4

La constante de proporcionalidad μ_s se denomina coeficiente de rozamiento estático.

Los coeficientes estático y cinético dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las dos superficies y son casi independientes del área de la superficie de contacto.

Tabla 3.11 Coeficientes de rozamiento por deslizamiento para diferentes materiales

Superficies en contacto	μ_k
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02- 0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4-0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

Fuente: Koshkin N. I., Shirkévich M. G. *Manual de Física Elemental*. Editorial Mir 1975.

Tabla 3.12 Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Fuente: Serway R. A. *Física*. Editorial McGraw-Hill. (1992)

3.5.5 Comportamiento de un cuerpo que descansa sobre un plano horizontal

Se hace una gráfica en la que en el eje horizontal representamos la fuerza F aplicada sobre el bloque y en el eje vertical la fuerza de rozamiento.

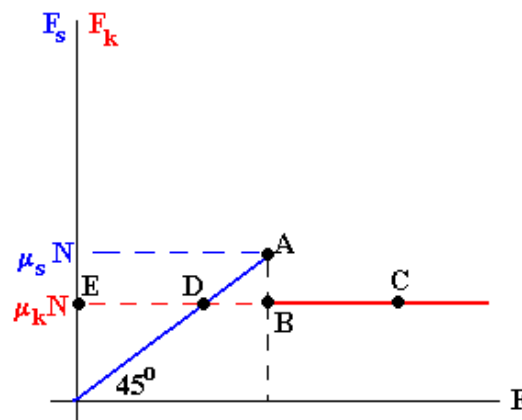


Figura 3.14 Fuerza de rozamiento producida en función de la fuerza aplicada

1. Desde el origen hasta el punto A la fuerza F aplicada sobre el bloque no es suficientemente grande como para moverlo. Estamos en una situación de equilibrio estático

$$F = F_s < \mu_s N \quad \text{Ec.3.5}$$

En el punto A, la fuerza de rozamiento estático F_s alcanza su máximo valor $\mu_s N$

$$F = F_{s \text{ máx}} = \mu_s N \quad \text{Ec.3.6}$$

2. Si la fuerza F aplicada se incrementa un poquito más, el bloque comienza a moverse. La fuerza de rozamiento disminuye rápidamente a un valor menor e igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento, $F_k = \mu_k N$

Si la fuerza F no cambia, punto B, y permanece igual a $F_{s \text{ máx}}$ el bloque comienza moviéndose con una aceleración

$$a = (F - F_k) / m$$

Si incrementamos la fuerza F , punto C, la fuerza neta sobre el bloque $F - F_k$ se incrementa y también se incrementa la aceleración.

En el punto D, la fuerza F aplicada es igual a F_k por lo que la fuerza neta sobre el bloque será cero. El bloque se mueve con velocidad constante.

En el punto E, se anula la fuerza aplicada F , la fuerza que actúa sobre el bloque es $-F_k$, la aceleración es negativa y la velocidad decrece hasta que el bloque se para.

El robot deberá sujetarse y mantener la fuerza aplicada por el peso y demás fuerzas exteriores creando succión en las ventosas de apoyo (patas) y manteniéndose estático en reposo sin resbalar cuando esté en posiciones verticales u horizontales.

