

Breve historia de la Ingeniería Mecánica

Parte III

Oscar Mauricio Barajas Pinzón

Calle 155 No. 28-A-1° Interior Apto. 404 Bogotá, D.C., Colombia.

oscar@impsat.net.co

www.oscarbarajas.com

LA ERA ESPACIAL

A principios de siglo XX, el maestro de escuela ruso Konstantin Eduardovich Tsiolkovski (1857–1935) era considerado como un excéntrico cuyas teorías apenas tenían relación con la realidad. Sin embargo, la era espacial había nacido en la humilde morada que habitaba ese maestro, por lo que fue llamado el “padre de la astronáutica”.

Aunque jamás lanzó un cohete, las contribuciones de Tsiolkovsky a la ciencia de la navegación espacial fueron incommensurables. Ya en 1883 expuso los principios que permiten el desplazamiento de un cohete en el vacío, y en “Sueños de la Tierra y el Cielo”, publicado en Moscú en 1895, enunció las posibilidades de un satélite espacial.

Más tarde, en 1903, comenzó a publicar por capítulos su libro “Exploración del espacio interplanetario mediante aparatos a reacción” que sentó la teoría del vuelo de los cohetes y las perspectivas de la navegación espacial. La contribución principal de Tsiolkovski consistió en recomendar la utilización de propulsores líquidos, que además de permitir prestaciones mejores que los sólidos, podrían controlarse con mayor facilidad tras la ignición. Ello resalta el elevado nivel de las ideas de Tsiolkovski; no obstante sus cuadernos de notas y obras impresas fueron completadas más adelante con nuevos conceptos que, de una u otra forma, se plasmarían en realizaciones técnicas prácticas.

Consideró la posibilidad de controlar el vuelo de los cohetes en el exterior de la atmósfera mediante aletas situadas tras la tobera, o mediante la inclinación de la propia tobera. Apuntó la posibilidad de emplear combustibles de distintos tipos, como gasolina, queroseno, alcohol y metano; ideó diversos métodos para regular el flujo de los propulsores de la cámara de combustión, con la utilización de válvulas mezcladoras y recomendó la refrigeración de la cámara de combustión y de la tobera mediante el paso de uno de los líquidos a través de una camisa de doble pared. En sus primeros diseños de cabinas para naves espaciales tuvo presente las necesidades de los organismos vivos, e incluyó dispositivos para absorber el dióxido de carbono y los olores; por otra parte, reconoció la importancia de que la tripulación se mantuviera en posición tendida, con la espalda apoyada sobre los motores, durante los momentos de aceleración. El problema de la aceleración en el vuelo en cohetes le preocupó de tal modo que incluso recomendó la inmersión de los pasajeros en un líquido de densidad igual a la del cuerpo humano. Propuso también la construcción de naves espaciales de doble pared,



Tsiolkovsky



En los números 19 y 20 de INGENIERÍAS se publicaron las partes I y II de este artículo.

para conseguir protección suficiente frente al calentamiento y enfriamiento excesivos, y como medida de precaución ante la posibilidad de que un meteorito atravesara la pared exterior de la aeronave. Por otra parte, Tsiolkovski aconsejó aprovechar el oxígeno líquido de los depósitos de combustible para suministrar oxígeno gaseoso a la cabina presurizada, y también predijo que un hombre protegido por un traje espacial y sujeto por una especie de cadena podría salir al exterior de la nave y permanecer en el vacío.

El precursor ruso consideró asimismo que podría aprovecharse el efecto giroscópico para estabilizar los cohetes en vuelo, y recomendó la utilización de cohetes de varias etapas o múltiples (que llamó “trenes de cohetes”), de modo que cada etapa se desprendiera del conjunto a medida que su combustible se agotara, como único medio para alcanzar la velocidad necesaria para el vuelo espacial.

Tsiolkovski anticipó el desarrollo de estaciones espaciales y describió el traslado al espacio de componentes plegados para su posterior despliegue y montaje; asimismo predijo que llegaría el momento en que se contruirían estaciones espaciales en las cuales el oxígeno y la alimentación necesaria para los seres humanos se obtendría de la vegetación cultivada en las propias estaciones. En su escrito “El avión cohete” (1930) Tsiolkovski analizaba las ventajas e inconvenientes de los aviones cohete en relación con los propulsados a hélice para el vuelo de gran velocidad en la alta atmósfera.

En 1909 el norteamericano Dr. Robert H. Goddard acometió una amplia investigación teórica sobre la dinámica de cohetes. Tres años después midió el empuje de un cohete de combustible sólido encendido en el interior de una cámara de vacío, con lo que probó la posibilidad de que los cohetes funcionaran en el espacio exterior. De este modo se abandonó definitivamente la creencia, hasta entonces muy arraigada, de que los cohetes únicamente



Goddard en el lanzamiento de su primer cohete.

podían funcionar en la atmósfera. Los trabajos posteriores del Dr. Goddard se orientaron al diseño de un cohete sonda práctico que permitiera obtener datos de las capas superiores de la atmósfera fuera del alcance de los aviones y globos sonda. Como Tsiolkovski, reconoció además las enormes posibilidades de los cohetes de combustible líquido. Su determinación le valdría un lugar imperecedero en la historia: el 16 de marzo de 1926 consiguió lanzar, en Auburn (Massachusetts), el primer cohete de combustible líquido del mundo.

Esta proeza fue superada, por un escaso margen, por el alemán Johannes Winkler, que el 21 de febrero de 1931 lanzó un cohete cerca de Dessau; estaba propulsado por metano y oxígeno líquidos. Aunque en esa ocasión apenas superó los 3 m de altura, tres semanas después alcanzó una altura de 90 m, tras ser equipado con estabilizadores.



Johannes Winkler.

El inventor alemán Max Valier, tras experimentar cohetes de combustible sólido en automóviles, trineos y vehículos en carriles, interesó en sus investigaciones al Dr. Paul Heylandt, dueño de una fábrica de gases industriales, que fabricaba oxígeno líquido. Aunque Valier no recibía un salario, fue autorizado a emplear un máximo de 6000 marcos en la construcción y experimentación de cohetes en dicha fábrica; no obstante, por razones de seguridad los ensayos únicamente tenían lugar de noche y en los fines de semana. Con la ayuda de Walter Riedel, uno de los ingenieros de la firma, Valier construyó y ensayó un pequeño motor con envoltura de acero.



Max Valier

Valier creía que el camino hacia los viajes espaciales pasaría por una evolución gradual del automóvil cohete al avión cohete y luego a la nave espacial. Ello explica que Valier no se convirtiera en el primer europeo en lanzar un cohete de combustible líquido en vuelo libre. Se había propuesto ensayar sus cohetes en vehículos tripulados.

Hermann Oberth, el inspirador de los trabajos alemanes sobre cohetes, era profesor de física y matemáticas. Nació en 1894 en Transilvania, actualmente integrada en Rumania. En 1923 publicó un reducido volumen titulado “Die Raketete zu den Planetenraumen” (“ El cohete en el espacio interplanetario”), en el que

además de sentar las bases del funcionamiento de los cohetes en el vacío afirmaba que, si se dispusiera de empuje suficiente, podrían fabricarse cohetes capaces de dar la vuelta a la Tierra. Oberth experimentó diversas combinaciones de propulsores. Quizá más significativo sea el hecho



Hermann Oberth

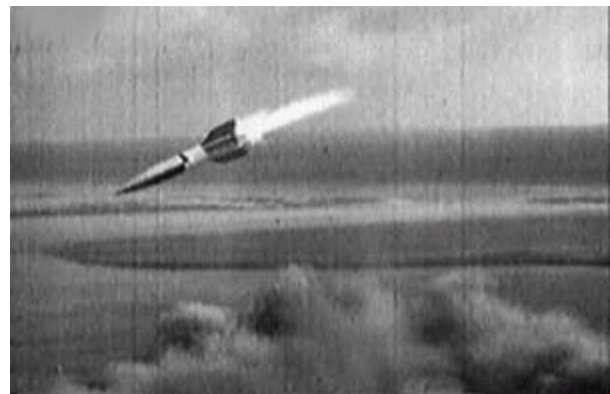
de que describiera con cierto detalle la forma de un cohete (el modelo B) que creía capaz de explorar las capas altas de la atmósfera. Aunque nunca se construyó, el modelo B excitó la imaginación de otros adelantados, y en 1927 se formó un grupo de entusiastas conocido como “Verein Fur Raumschiffahrt e. V.” Sociedad para la Navegación Espacial. La primera reunión tuvo lugar en una cervecería de Breslau y conduciría al desarrollo de técnicas que habrían de estremecer al mundo (pues la sociedad había de convertirse en la cuna de científicos que atravesaron por primera vez las fronteras del espacio). Entre los primeros miembros se encontraban Johannes Winkler, Max Valier, Willy Ley, Hermann Oberth, Rudolf Nebel, Walter Hohmann, Guido Von Pirquet, Eugen Sanger, Franz von Hoefft, Kurt Hainish, Klaus Riedel, Rolf Engel y Wernher von Braun quien ingresó en ella en 1930, a la edad de 18 años.

Hitler, que había llegado al poder de Alemania en 1933, comenzaba a extender su influencia, y las fuerzas armadas vieron sus presupuestos engrosados. La Luftwaffe estaba interesada en instalar motores cohete en sus aviones, y el ejército en sus cohetes balísticos como medio para ampliar el



Wernher von Braun

alcance de la artillería convencional. Así pues, se decidió establecer un centro de investigaciones de cohetes en las proximidades de la localidad de Peenemunde, en la costa alemana del Báltico, donde podían lanzarse con seguridad a distancias superiores a los 300 Km. El enorme centro, cuya construcción se prolongó durante dos años, contaba con instalaciones de ensayo y laboratorios perfectamente equipados, que poco tiempo atrás sus ocupantes no podían ni soñar. Von Braun reclutó a parte de los entusiastas que habían colaborado en los cohetes Mirak y Repulsor en el Rakettenflugplatz. Fue en Peenemunde donde se completó el diseño del Cohete A-5 cuyos lanzamientos tuvieron lugar, sin sistemas de guiado, en 1938. El primer vuelo con control giroscópico completo tuvo lugar en el otoño de 1939 (al comienzo de la Segunda Guerra Mundial). Allí se probarían también los cohetes A-4, los cuales evolucionarían hacia los Cohetes V-1 y V-2, con los cuales se bombardeó Londres durante el conflicto bélico mundial.



Cohete V-2 en vuelo.

También los soviéticos progresaban en el dominio de la cohería. El 17 de agosto de 1933 se lanzaba en Moscú el GIRD 09, que empleaba como propulsores oxígeno líquido y gasolina gelatinizada, y alcanzó una altura de unos 400 m. El GIRD X, primer cohete soviético de combustible enteramente líquido, alcanzó casi 80 m el 25 de noviembre de 1933.

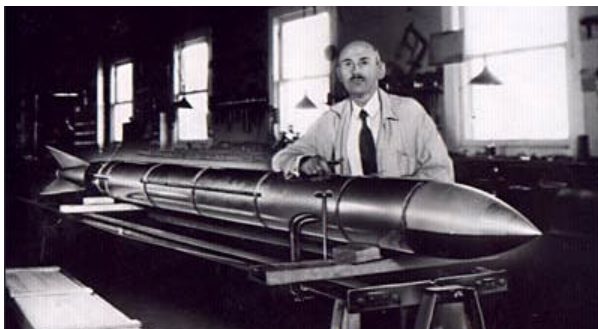


Grid 09

Debe señalarse que Goddard en Estados Unidos, a pesar de trabajar con fondos mucho más limitados, alcanzó también logros con cohetes girocontrolados, y resulta interesante comparar los progresos durante este periodo.

El Ingeniero Norteamericano instaló en 1932 un giróscopo de 10,2 cm en un cohete, con su eje de giro en el eje longitudinal del segundo. El eje de giro del giróscopo permanecía vertical, y cuando el ingenio se desviaba 13 grados de la vertical se cerraban contactos eléctricos que desencadenaban una acción rectificadora: una de las cuatro aletas aerodinámicas se abría, y simultáneamente se interponía en el chorro de gases una de las cuatro aletas deflectoras.

Aunque el primer lanzamiento, el 19 de abril de 1932, fracasó por la pérdida de empuje del motor, y, se alcanzó tan solo una altura de 40m aproximadamente, bastó para observar el efecto estabilizador del giróscopo. Cuando el equipo llegó al lugar en donde había caído el equipo, observó que los deflectores estaban intactos, indicio de que habían funcionado.



Goddard junto a uno de sus cohetes experimentales.

En los años siguientes Goddard realizó nuevos progresos con los estabilizadores automáticos. Uno de sus cohetes, lanzado el 8 de marzo de 1935, contaba con un sencillo péndulo en lugar del giróscopo, que emitía señales correctas cuando el cohete se desviaba más de 10 grados de la vertical. Este cohete alcanzó una velocidad de 700 millas por hora y cayó a 9000 pies de la torre de lanzamiento.

Este precursor norteamericano de la cohería llegó aún más lejos. En el verano de 1937 lanzó con éxito un cohete en el que el control se efectuaba mediante una junta universal, y que alcanzó una altitud de 626 m, aunque el vuelo se malogró por la apertura prematura del paracaídas. Su longitud era de 5.6 m y contaba con una pieza de cola móvil, depósitos de combustible sujetos mediante alambres y un barógrafo a bordo.

A fines de la Segunda Guerra Mundial, los aviones polimotores alcanzaban un techo de tan solo 10 Km, y los globos sonda científicos eran capaces de elevarse, en el mejor de los casos, únicamente a 32 km (en 1952 y posteriormente durante el Año Geofísico Internacional, se lanzaron en Estados Unidos cohetes sonda con instrumentos desde una altitud de 30 km, a la que fueron elevados los globos; estos ingenios conocidos como rockoons, trasladaron cargas de 9 kg a altitudes del orden de 100 km).

Al finalizar la guerra, los Estados Unidos y la Unión Soviética contaban ya con los medios necesarios para penetrar las capas superiores de la atmósfera y trasladar a ellas cargas de equipos científicos considerables. Naturalmente se trataba del cohete V-2.

En los últimos años de la guerra los alemanes habían trazado planes para emplear el V-2 con esos fines. El Instituto de Investigación de Física Estratosférica había desarrollado y ensayado instrumentos de medidas especiales para registrar el espectro ultravioleta del sol, las presiones atmosféricas y las temperaturas a diversas altitudes, el flujo de radiación cósmica y de otros tipos, y también un dispositivo para recoger muestras de aire. Se lanzaron dos misiles sin instrumentos para verificar las características de vuelo en tales misiones. No obstante, las exigencias bélicas en las postrimerías de la guerra determinaron la suspensión de este programa planeado para el V-2.

Con el fin de la guerra, los cohetes V-2 existentes y los componentes cayeron en manos de norteamericanos, soviéticos, franceses y británicos. Los primeros, y en menor medida los segundos, acometieron amplios programas para aprovechar el armamento capturado y alcanzar los objetivos que se habían trazado los alemanes: la investigación científica de la alta atmósfera mediante cohetes capaces de alcanzar grandes altitudes.

En el otoño de 1945 se habían embarcado en Alemania, con destino a los Estados Unidos, componentes para la fabricación de más de 100 V-2, que debían montarse y lanzarse en el nuevo campo de pruebas de White Sands, en Nuevo México. La finalidad primordial de estos misiles consistía en recoger datos sobre el entorno físico y las radiaciones de alta atmósfera, y en adiestrar a los norteamericanos, civiles y militares, en el montaje, comprobaciones y lanzamiento de cohetes de grandes proporciones.

La familia de cohetes sonda engendrada por el V-2 de la Segunda Guerra Mundial fue la antecesora de proyectiles mucho más potentes, capaces de atravesar las fronteras del espacio y enviar robots de exploración. El año Geofísico Internacional vio nacer, además, un medio para estudiar el espacio fuera del alcance de los cohetes sonda y sus capacidades de carga. Se trata del satélite científico, capaz de orbitar a altitudes en las cuales la colisión con las escasísimas moléculas de aire produce una resistencia despreciable. Tales observatorios científicos podrían permanecer en órbita durante años, con la única limitación de la vida operativa de los instrumentos científicos, de sus sistemas de telemetría y del suministro de energía.

El concepto de satélite artificial se había considerado en Estados Unidos años atrás. En 1945 el Bureau of Aeronautics (administración de la aviación naval norteamericana) emprendió el estudio de un artefacto de este tipo con la finalidad de situar instrumentos científicos en el espacio. Un año más tarde la USAAF estudió un informe análogo elaborado por la Douglas Aircraft Company. Este documento contenía el diseño preliminar de una “nave espacial circunterrestre experimental”.

Ya el 4 de octubre de 1951 M.K. Tjonnarokov, uno de los principales diseñadores de cohetes soviéticos,

afirmaba que la tecnología de su país estaba a la par con los Estados Unidos, y que era capaz de situar un satélite artificial en órbita alrededor de la Tierra. En el transcurso de la conferencia mundial para la paz que se celebraba en Viena, el 27 de noviembre de 1953 Alexander N. Nesmeianov, de la Academia de ciencias de la URSS declaró “ La creación de un satélite artificial de la Tierra constituye una posibilidad real”. Posteriormente, durante una conferencia del comité especial para el Año Geofísico Internacional que tenía lugar en Barcelona, el 11 de Septiembre de 1956 un delegado soviético declaró que su país situaría en orbita un satélite artificial ese mismo año.

El 4 de Octubre de 1957 los Estados Unidos y el mundo entero constataron con gran sorpresa que no se trataba de propaganda, sino de una realidad. La URSS acababa de situar en órbita el Sputnik1, el primer satélite artificial de la Tierra. Se trataba de un satélite esférico con un diámetro de 58 cm y un peso de 83.6 kg. Contenía instrumentos para medir la densidad y la temperatura a lo largo de toda su órbita, que oscilaba entre 227 y 941 km. Por otra parte recogió datos sobre la concentración de electrones en la ionósfera. El 3 de noviembre los Soviéticos lanzaron el Sputnik 2. La capacidad de carga de 508 kg comprendía la perrita Laika e instrumentos para estudiar los efectos de la ingravidez en su cuerpo. Por otra parte portaba también sensores para medir el entorno de radiaciones en el espacio.



El Sputnik de la antigua URSS.

Posteriormente los Estados Unidos lanzaron al espacio el Explorer 1, réplica norteamericana del Sputnik, un poco más pequeño y menos pesado. El valor científico del satélite radica en el descubrimiento de lo que luego se conocería como cinturones de Van Allen.

Este episodio marcó uno de los hechos más interesantes de la Guerra Fría (y tal vez el verdadero legado de esa Guerra para la Humanidad), la Carrera Espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Posteriormente se irían rompiendo marca por marca la salida del hombre al espacio y su llegada a la Luna, evento que divide la trascendencia tecnológica de la humanidad en dos, dando preponderancia a los desarrollos realizados por Estados Unidos a través de su agencia NASA.

PROCESOS MODERNOS Y MATERIALES INTELIGENTES

Históricamente, la mayoría de las aleaciones se preparaban mezclando los materiales fundidos. Más recientemente, la pulvimetalurgia ha alcanzado gran importancia en la preparación de aleaciones con características especiales. En este proceso, se preparan las aleaciones mezclando los materiales secos en polvo, prensándolos a alta presión y calentándolos después a temperaturas justo por debajo de sus puntos de fusión. El resultado es una aleación sólida y homogénea. Los productos hechos en serie pueden prepararse por esta técnica abaratando mucho su costo. Entre las aleaciones que pueden obtenerse por pulvimetalurgia están los cermets. Estas aleaciones de metal y carbono (carburos), boro (boruros), oxígeno (óxidos), silicio (siliciuros) y nitrógeno (nitruros) combinan las ventajas del compuesto cerámico, estabilidad y resistencia a las temperaturas elevadas y a la oxidación, con las ventajas del metal, ductilidad y resistencia a los golpes. Otra técnica de aleación es la implantación de ion, que ha sido adaptada de los procesos utilizados para fabricar chips de ordenadores o computadoras. Sobre los metales colocados en una cámara de vacío, se disparan haces de iones de carbono, nitrógeno y otros elementos para producir una capa de aleación fina y resistente sobre la superficie del metal. Bombardeando titanio con nitrógeno, por ejemplo, se puede producir una aleación idónea para los implantes de prótesis.

La plata fina, el oro de 14 quilates, el oro blanco y el platino iridiado son aleaciones de metales preciosos. La aleación antifricción, el latón, el bronce, el metal Dow, la plata alemana, el bronce de cañón, el monel, el peltre y la soldadura son aleaciones de metales menos preciosos. Debido a sus impurezas, el aluminio comercial es en realidad una aleación. Las aleaciones de mercurio con otros metales se llaman amalgamas

MICROMÁQUINAS Y NANOTECNOLOGIA

El 29 de diciembre de 1959, el físico estadounidense Richard Feynman dio una conferencia ante la American Physical Society titulada "Hay mucho sitio en lo más bajo". En aquella conferencia, Feynman trató sobre los beneficios que supondría para la sociedad el que fuéramos capaces de manipular la materia y fabricar artefactos con una precisión de unos pocos átomos, lo que corresponde a una dimensión de 1 nm, aproximadamente. Feynman pronosticó correctamente, por ejemplo, el impacto que tendría la miniaturización sobre las capacidades de los ordenadores electrónicos; también predijo el desarrollo de los métodos que se emplean en la actualidad para fabricar circuitos integrados, y la aparición de técnicas para trazar figuras extremadamente finas mediante haces de electrones. Incluso planteó la posibilidad de producir máquinas a escala molecular, que nos permitirían manipular moléculas. Cuarenta años después de aquella conferencia, los expertos que trabajan en el campo de la nanotecnología están empezando a poner en práctica algunas de las ideas propuestas originalmente por Feynman, y muchas más que no se previeron entonces.



Richard Feynman

Para captar intuitivamente la longitud de un nanómetro, consideremos un cabello humano. Típicamente suele tener un espesor de unos 100 micrómetros (μm). Una bacteria normal es unas 100 veces más pequeña, con un diámetro de alrededor de

1 μm . Un virus del resfriado común es aproximadamente 10 veces menor, con un tamaño de unos 100 nm. Una proteína típica de las que componen la envoltura de dicho virus tiene unos 10 nm de espesor. Una distancia de 1 nm equivale a unos 10 diámetros atómicos, y corresponde a las dimensiones de uno de los aminoácidos que componen esa proteína. Por tanto, puede verse que 1 nm supone una tolerancia dimensional extremadamente pequeña, pero ya hay varias tecnologías que están próximas a alcanzarla.

El término ‘nanotecnología’ fue acuñado por Nomo Taniguchi en 1974 en relación con la fabricación de productos mediante métodos de mecanizado. Taniguchi mostró cómo la tendencia a aumentar la precisión de fabricación estaba llevando inexorablemente al punto en que, en el año 2000, las piezas fabricadas con un mecanizado “normal” tendrían una precisión de 1 μm , mientras que el mecanizado “de precisión” supondría una precisión de 10 nm y el “ultrapreciso” de hasta 1 nm. Sus predicciones demostraron en muchos casos ser correctas. Este tipo de nanotecnología forma parte de un grupo denominado a menudo ‘nanotecnologías de arriba abajo’, que se acercan a la precisión necesaria gradualmente, sobre todo mediante refinamientos de métodos de fabricación anteriores.

En 1964, Gordon Moore, de la empresa estadounidense Fairchild Semiconductor Corporation, predijo que el número de transistores que se podrían fabricar en un chip se duplicaría cada año. La llamada ‘ley de Moore’ sigue cumpliéndose de forma aproximada, aunque en la actualidad el número se duplica cada dos o tres años. La última tecnología en chips comerciales, como el Pentium de Intel, tiene una anchura de línea de unos 300 nm, con aproximadamente 1,5 millones de transistores en cada chip. Algunos dispositivos especializados, como los chips de memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), que pueden almacenar hasta 64 millones de bits de información, tienen más de 64 millones de transistores. En los primeros años del siglo XXI, las anchuras de línea mínimas de los chips comerciales deberían disminuir hasta 100 o 200 nm en componentes como los chips de DRAM, que podrían almacenar más de 1.000 millones de bits.

Algunos ejemplos de estos dispositivos, que se aproximan a la región de la nanotecnología, ya se han probado en el laboratorio.

Y EL FUTURO...

La problemática actual de la humanidad plantea grandes retos para la Ingeniería Mecánica. Por una parte, no existen procesos verdaderamente eficientes para tratamiento y manejo de agua potable, transporte de alimentos, manejo eficiente de energía eléctrica, hidráulica, eólica, térmica o generada por hidrocarburos. La Ingeniería Mecánica tenderá a asociarse con conceptos medioambientales y ecológicos para su desarrollo. La manipulación en las microestructuras de aleaciones producirá metales especiales, compuestos avanzados y materiales inteligentes que auto corrigen defectos, con grandes capacidades en resistencia mecánica, térmica y química. La corrosión se podrá manejar económicamente, y tal vez tienda a desaparecer. Se utilizarán nuevos combustibles, más económicos en su producción y menos contaminantes, lo que exige el desarrollo de motores adaptados para su uso. Las máquinas se asociarán más con el Ser Humano. El reemplazo de partes humanas como huesos por aleaciones especiales de Titanio, o cartílagos por mezcla de plástico y células vivas marcarán un hito en el desarrollo de la biomecánica. La exploración espacial seguirá a su ritmo, planteando más retos en cuanto al desarrollo de hábitats adecuados para la supervivencia de la humanidad en el espacio exterior. El uso seguro de la energía atómica y su masificación en todo el mundo será un hecho. La exploración y explotación del mar en todas sus dimensiones implica el desarrollo de artefactos y equipos capaces de trabajar sometidos a grandes presiones hidráulicas. El desarrollo de arcologías facilitará la construcción de colonias espaciales y submarinas. Nacerá la Industria de Gravedad Cero, la minería planetaria y de asteroides. Aprenderemos a manipular las estructuras atómicas de compuestos de diversos materiales para sacar de ellos el máximo provecho, hasta de la piedra misma. Tal vez volvamos al Sílex para transformarlo atómicamente y revelar su secreto, que fue el que nos sacó de las cavernas y nos impulsó al cielo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Letis. Guía del Estudiante. 18a Edición 2000 - 2001.
2. Hancock, Graham. Las Huellas de los Dioses. Ediciones Grupo Zeta. Bilbao. 1998.
3. Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
4. Vinci, Leonardo Da. Cuaderno de notas. Compilación de Edimat libros. Madrid España. 1999.
5. Diccionario Enciclopédico Salvat. Tomo VIII In-Mao. Salvat Editores S.A. Barcelona – Madrid. 1957.
6. Pijoan. Historia del mundo. Tomo IV. Copérnico, Kepler y Galileo. Salvat Editores S.A. 1961.
7. Gtland, Kenneth. Los inicios de la exploración del espacio. Ediciones Orbis S.A. Barcelona 1985.
8. Beer, Ferdinand P. Johnston E. Russell Jr. Mecánica vectorial para ingenieros. Mc Graw Hill. Quinta edición. 1991.
9. Tamayo y Tamayo Mario. El proceso de la investigación científica. Limusa Noriega Editores. Cuarta edición. 2002.
10. Sabino, Carlos. El proceso de investigación. Editorial Panamericana. Tercera edición. Santa Fé de Bogotá D.C. Septiembre de 1997.
11. Sabino, Carlos A. Cómo hacer una tesis y elaborar toda clase de trabajos escritos. Panamericana Editorial Ltda. Primera Edición. Santa Fé de Bogotá D.C. 1996.
12. Ledesma Martín Mora. Ortíz Patricio Sepúlveda. Metodología de la investigación. Limusa Nariega editores, Conalep y SEP. México D.F. 2000.
13. Sampieri, Roberto Hernández. Collado, Carlos Fernández. Lucio, Pilar Baptista. Metodología de la investigación. Editorial Mc Graw Hill. México D.F. 2000.
14. Ieee, Publishing services department, «Preparation of papers in a two column format for Ieee photo-off set publications», instructivo para autores del Ieee. New York. 1983.
15. Ieee, Publishing services department, “Information for authors”, instructivo para autores del Ieee. New York. 1983.
16. Barahona, Metodología científica. Bogotá. Ed. Ipler, 1981.
17. .Icontec. Normas colombianas sobre documentación y presentación de tesis de grado. Programa Icontec–Icfes. Bogotá D.C.1992.



Primer Congreso y Exposición Nacional de La Industria del Acero 2003



Hotel Holiday Inn Crowne Plaza
Monterrey, N.L., México
del 23 al 25 de Noviembre 2003

Información

Ing. Myran Molina R.
Tel. (81) 8865-2288 Fax: (81) 8865-2807
e-mail: mmolina@hysamex.com.mx
www.iss-mexico.org.mx