

RESUMEN

Una clase importante de problemas de optimización dinámica, son los problemas de control óptimo, cuya teoría está vinculada de forma natural al Cálculo Variacional, es justamente esta teoría la que se utiliza en el presente trabajo de tesis, para realizar el estudio de un caso particular que guíe el aprendizaje del control óptimo en estudiantes de ingeniería, mediante el modelamiento matemático con ecuaciones diferenciales, incluyendo la solución numérica de dichas ecuaciones. El problema considerado para dicho efecto es “el problema de alunizaje”, el mismo que ha sido abordado por diferentes autores y desde perspectivas distintas. Es decir, tratamos con un ejemplo que brinda múltiples posibilidades de estudio y con distintos niveles de complejidad, por ende, para nuestros intereses, se le da al problema una orientación dirigida al estudio del aterrizaje de módulos lunares en forma “suave” y segura, en el que se deben considerar la optimización de la trayectoria bidimensional del aterrizaje y el consumo mínimo de combustible. En primera instancia, para el modelamiento y resolución del problema de optimización, se escribe éste en base a cinemática bidimensional, obteniéndose un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales. Posteriormente se aplica la teoría de control óptimo, tomando en cuenta que la dirección de empuje es la variable de control y que dicha variable, se expresa en función de las variables de co-estado por medio del uso del principio máximo de Pontryagin, luego el problema se convierte en un problema de valor límite de dos puntos.

PALABRAS CLAVE

- **CONTROL ÓPTIMO**
- **ALUNIZAJE**
- **MÉTODO DE RUNGE KUTTA**
- **MÉTODO SIN MALLADO**

ABSTRACT

An important class of dynamic optimization problems, are the problems of optimal control, whose theory is naturally linked to the Variational Calculation, it is precisely this theory that is used in this thesis, to carry out the study of a particular case to guide the learning of optimal control in engineering students, through mathematical modeling with differential equations, including the numerical solution of various equations. The problem took for this effect is "the moon landing problem", which has been addressed by different authors and from different perspectives. It means that, we deal with an example that offers multiple possibilities of study and with different levels of complexity, therefore, for our interests, the problem is given an orientation aimed at the study of the landing of lunar modules in a "soft" and in a safe way, in which the optimization of the two-dimensional landing path and the minimum fuel consumption should be considered. In the first instance, for the modeling and resolution of the optimization problem, it is written based on a two-dimensional kinematics, obtaining a system of nonlinear differential equations. Subsequently, the optimal control theory is applied, taking into account that the thrust direction is the control variable and that variable is expressed as a function of the co-state variables through the use of the maximum Pontryagin principle, then the problem becomes a two point limit value problem.

KEYWORDS

- **OPTIMAL CONTROL**
- **MOON LANDING**
- **RUNGE KUTTA METHOD**
- **MESHLESS METHOD**