



Control de Fuerzas

Control de Fuerzas

Aspectos preliminares para un esquema de trabajo

Buscamos describir el contacto entre dos objetos. Específicamente contacto y libertades. De allí que vamos a considerar sólo fuerzas de contacto.

Vamos a realizar un análisis quasi-estático, ignorando otras fuerzas estáticas, tales como ciertas componentes de fricción y gravedad.

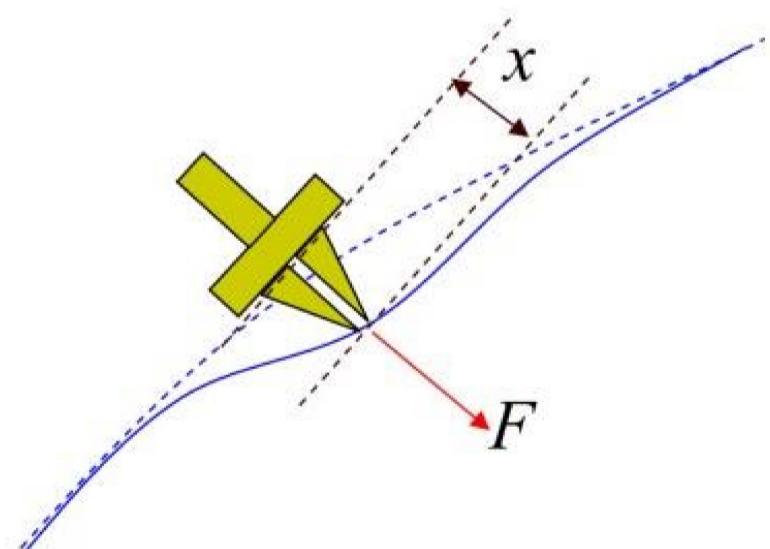
El análisis es razonable donde las fuerzas de contacto entre objetos relativamente rígidos son las fuentes dominantes de fuerzas actuantes en el sistema.

Consideremos la figura siguiente donde en el contacto (o para nuestro modelo de contacto) se define una superficie generalizada con las limitaciones en posición a los largo de las normales a esta superficie y las limitaciones de fuerza a lo largo de sus constantes

Control de Fuerzas

Consideremos por ejemplo el medio ambiente deformable de la figura.

Como el medio ambiente se deforma en respuesta a una fuerza, hay tanto una fuerza como un movimiento en la misma dirección, es decir, normal a la superficie.



En efecto, sea k_e la rigidez de la superficie, tal que $f = k_e x$.

Control de Fuerzas - Rígidez

- Es de interés en aplicaciones en las que el manipulador debe mantener contacto o aplicar fuerzas.

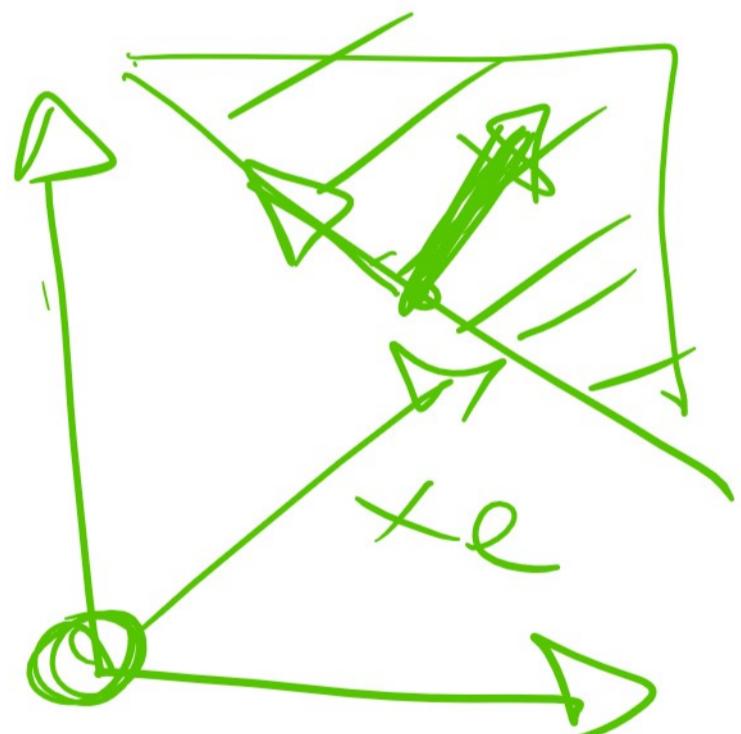
Rígidez

Se emplea el concepto de rigidez. Considérese la relación entre la fuerza ejercida ψ_e y el desplazamiento $(x - x_e)$ en el espacio cartesiano:

$$\psi_e = K_e(x - x_e) \quad (1)$$

donde x_e es la posición del objeto en contacto con el efecto final y K_e una matriz constante de $N \times N$ diagonal, semidefinida positiva que representa la rigidez del entorno. Si el movimiento del manipulador no está restringido en una determinada dirección del espacio, entonces el elemento diagonal correspondiente de la matriz es nulo.

$$\begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix}$$



$$\psi = M_x(q)\ddot{x} + V_x(q, \dot{q}) + G_x(q) = g = \alpha g' + \beta$$

$F = K_e \dot{x}$

$\dot{F} = K_e \ddot{x}$

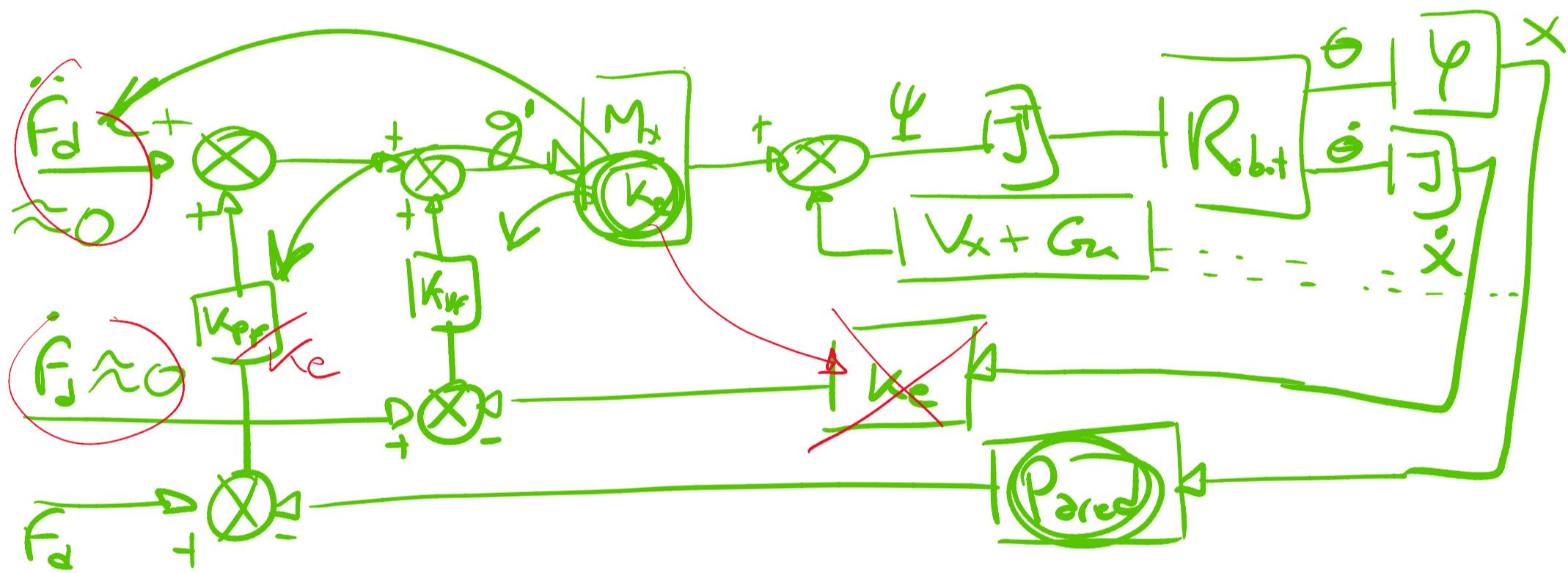
$\ddot{F} = K_e \ddot{x}$

$$\Psi = \underbrace{\frac{M_x}{K_e} \ddot{f}}_{\alpha} + V_x + G_x = \alpha \dot{g} + \beta$$

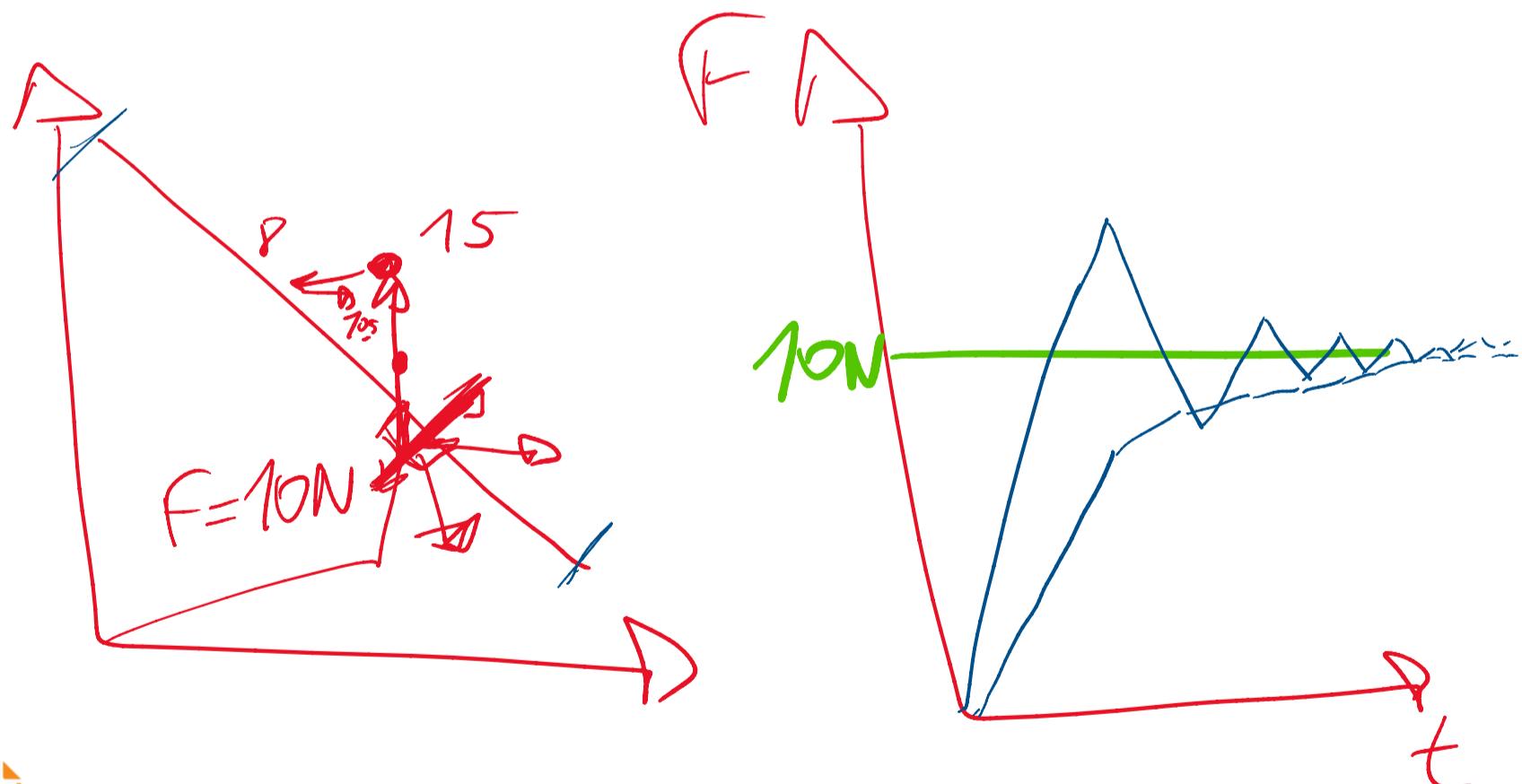
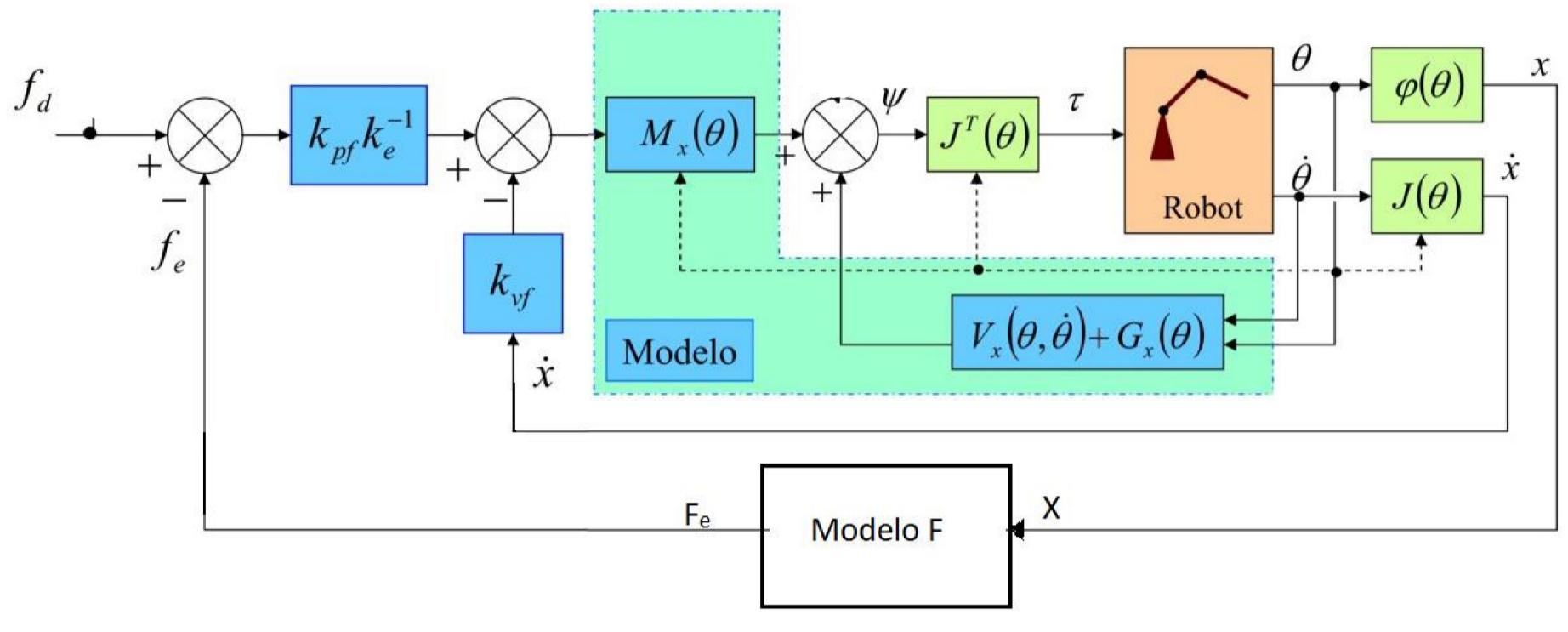
$$\alpha = M_x \cdot K_e^{-1}$$

$$\beta = V_x + G_x$$

$$\dot{g} = \ddot{f}_d + K_{VF} \cdot (\dot{f}_d - K_e \dot{x}) + K_{PF} (f_d - K_e (x - x_{el}))$$



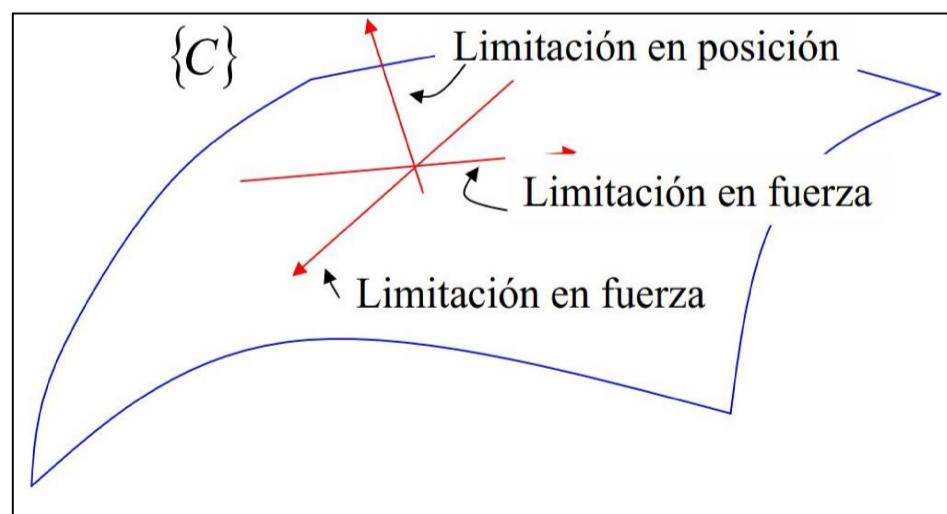
Control de Fuerzas - Manipulador



Control Hibrido (Posición/Fuerza)

Control Hibrido

El Control Híbrido de Posición/Fuerza está basado en la idea de una superficie que es esencialmente la configuración de una tarea que **limita la libertad de posición**. La libertad de movimiento puede desarrollarse a lo largo de la tangente de la superficie, mientras que la libertad de fuerza lo hace a lo largo de su normal. Para una tarea dada hay un conjunto de restricciones asociadas que pueden ser representadas por una superficie. La base del control híbrido es que las **restricciones naturales** dividen todos los grados de libertad en dos conjuntos ortogonales: **los grados de libertad de posición y los grados de libertad de fuerza**. Un conjunto adicional de **restricciones artificiales** surge a partir de la introducción de **posiciones y fuerzas de contacto deseadas**.



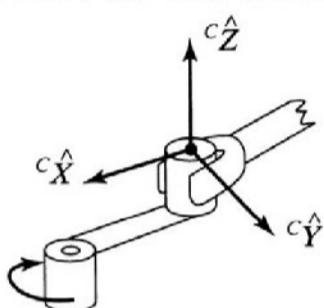
Restricciones naturales

Toda tarea de manipulación puede dividirse en subtareas por una situación particular de contacto que ocurre entre el efecto final del manipulador y el ambiente de trabajo.

Para cada una de estas subtareas, podemos asociar un conjunto de limitaciones, llamadas “restricciones naturales” que resultan de las particularidades mecánicas y geométricas de la configuración de la tarea.

Ejemplos

En el caso de una manivela que no presenta rozamiento en las partes rotatorias:

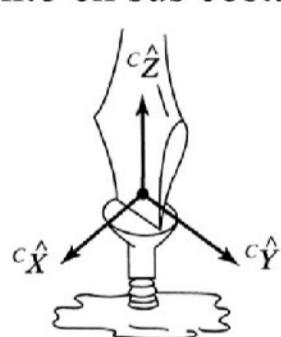


Las limitaciones naturales serán:

$$\begin{array}{ll} v_x = 0 & f_y = 0 \\ v_z = 0 & n_z = 0 \\ \omega_x = 0 & \\ \omega_y = 0 & \end{array}$$

Restricciones Naturales

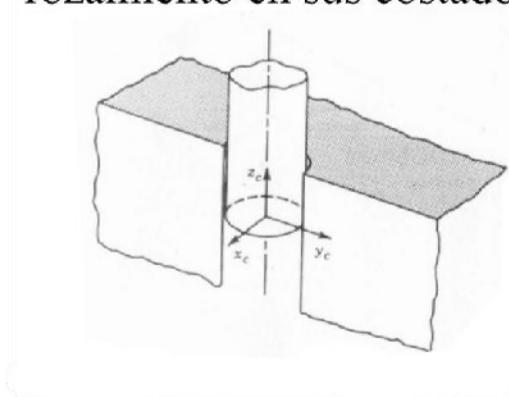
En el caso de un destornillador con un tornillo, asumiendo que no presenta rozamiento en sus costados:



Las limitaciones naturales serán:

$$\begin{array}{ll} v_x = 0 & f_y = 0 \\ v_z = 0 & n_z = 0 \\ \omega_x = 0 & \\ \omega_y = 0 & \end{array}$$

En el caso de un perno en un agujero cilíndrico, asumiendo que no presenta rozamiento en sus costados:



Las limitaciones naturales serán:

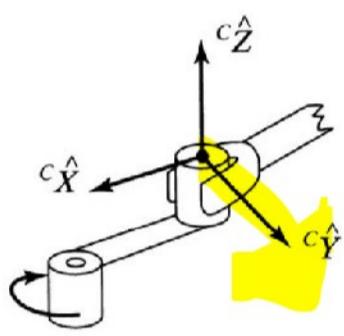
$$\begin{array}{ll} v_x = 0 & f_z = 0 \\ v_y = 0 & n_z = 0 \\ \omega_x = 0 & \\ \omega_y = 0 & \end{array}$$

Restricciones Artificiales

En los ejemplos anteriores vemos que la geometría del problema no afecta a todo otro conjunto de variables. Éstas estarán afectadas entonces por la operación que en particular se quiere realizar. Es lo que se llaman “restricciones artificiales” (RA). Dependen de la operación, es decir, de la trayectoria, sea en posición o en fuerza deseada. Contrario a las RN, las RA en fuerzas ocurren a lo largo de las normales, mientras que las RA en posición a lo largo de las Cotangentes.

Ejemplos

En el caso de una manivela que no presenta rozamiento en las partes rotatorias:

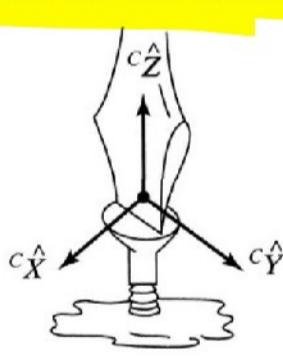


Las limitaciones artificiales serán:

$$\begin{aligned}f_x &= 0 & v_y &= r\dot{\alpha} \\f_z &= 0 & \omega_z &= \dot{\alpha} \\n_x &= 0 \\n_y &= 0\end{aligned}$$

Restricciones Artificiales

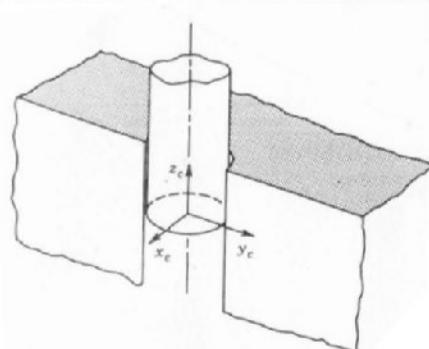
En el caso de un destornillador con un tornillo, asumiendo que no presenta rozamiento en sus costados:



Las limitaciones artificiales serán:

$$\begin{aligned}f_x &= 0 & v_y &= 0 \\f_z &= f_d & \omega_z &= \dot{\alpha} \\n_x &= 0 \\n_y &= 0\end{aligned}$$

En el caso de un perno en un agujero cilíndrico, asumiendo que no presenta rozamiento en sus costados:



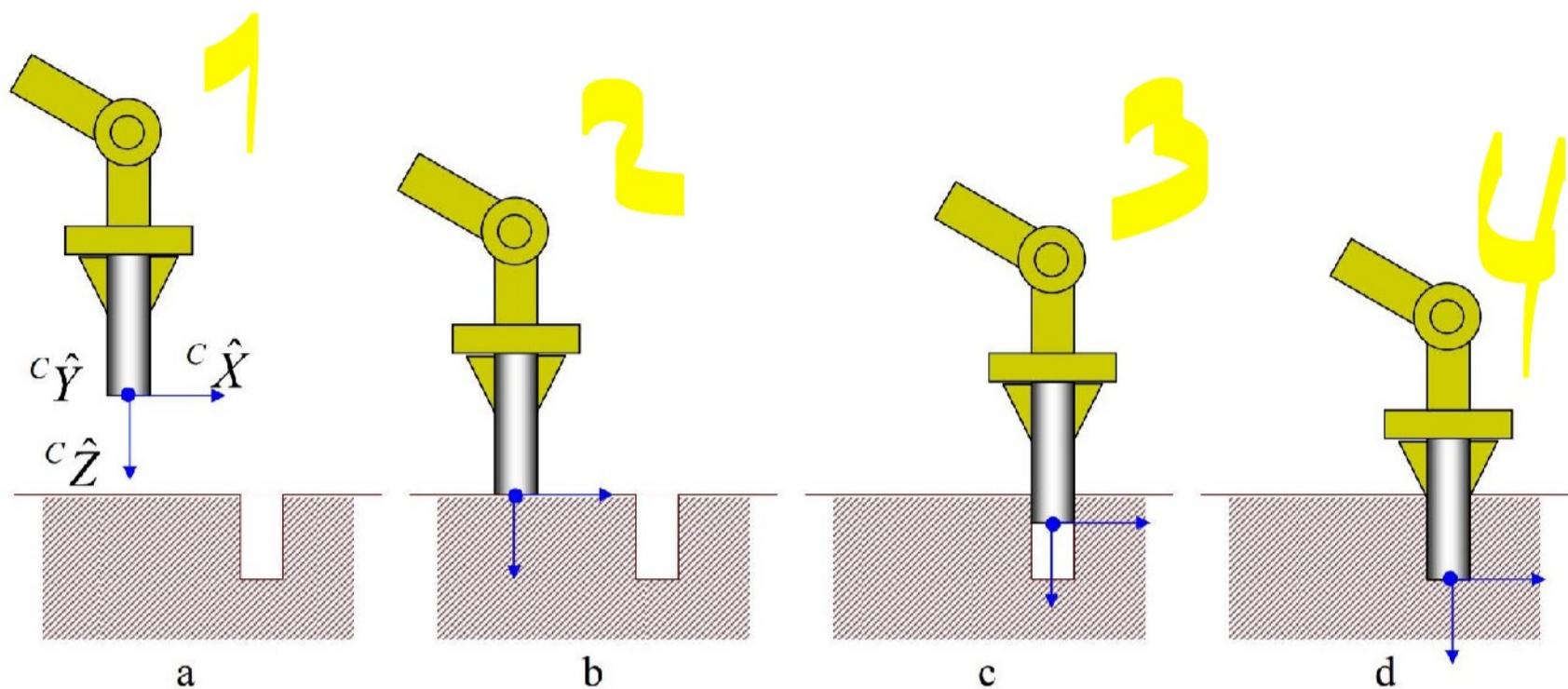
Las limitaciones artificiales serán:

$$\begin{aligned}f_x &= 0 & v_z &= v_d \\f_y &= 0 & \omega_z &= 0 \\n_x &= 0 \\n_y &= 0\end{aligned}$$

División en Subtareas

División de una tarea en subtareas

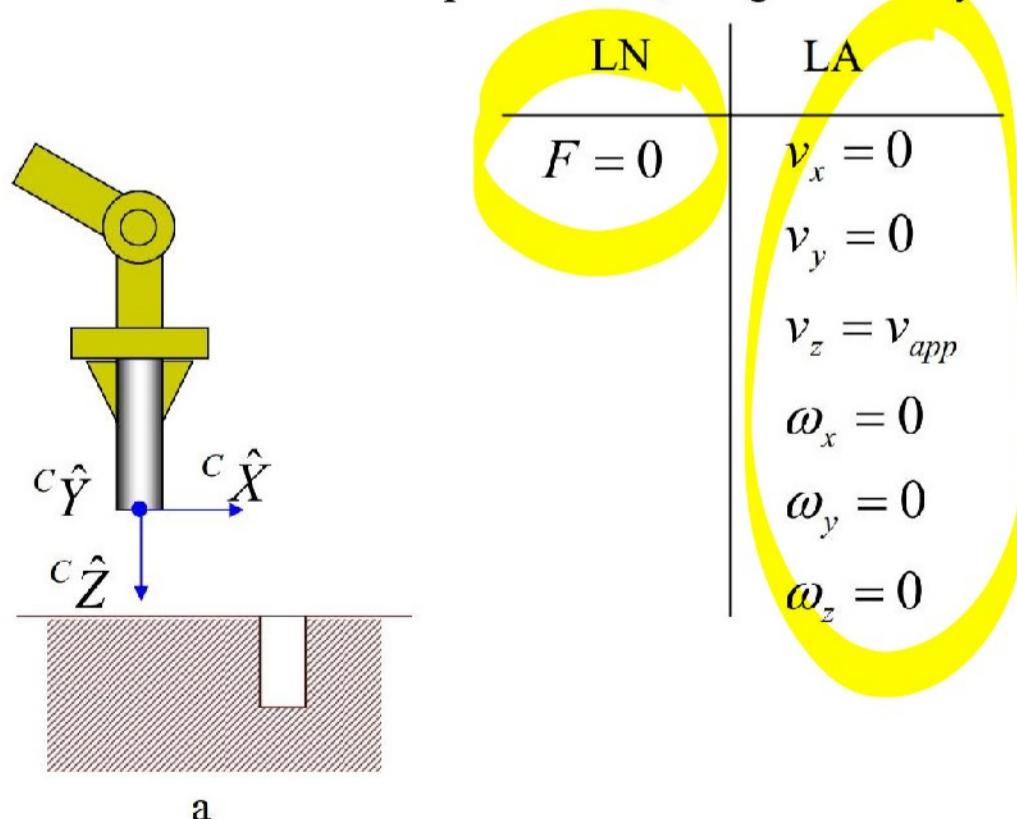
Asumamos la tarea de inserción de un perno en un orificio cilíndrico. Esta tarea la podemos subdividir en cuatro según la figura



Subtareas

Subtarea “a”

Se encuentra en el espacio libre; luego sólo hay control en posición.

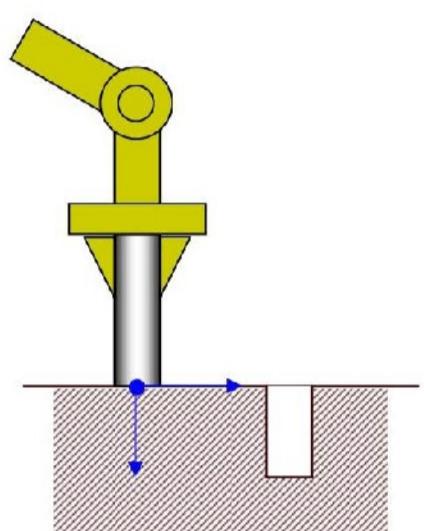


Subtareas

Subtarea “b”

Toca con la superficie y se desliza hacia el agujero, sin rozamiento.

LN	LA
$v_z = 0$	$v_x = v_{sld}$
$\omega_x = 0$	$v_y = 0$
$\omega_y = 0$	$\omega_z = 0$
$f_x = 0$	$f_z = f_{ctc}$
$f_y = 0$	$n_x = 0$
$n_z = 0$	$n_y = 0$



b



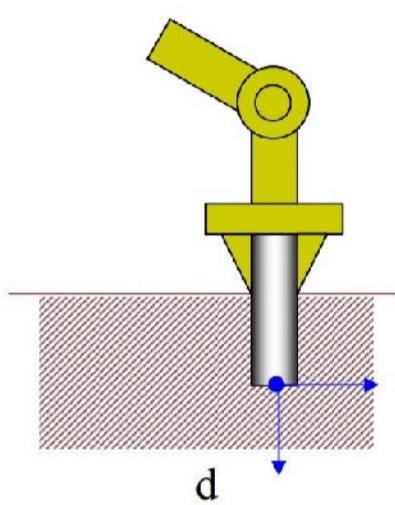
✗

Subtareas

Subarea “d”

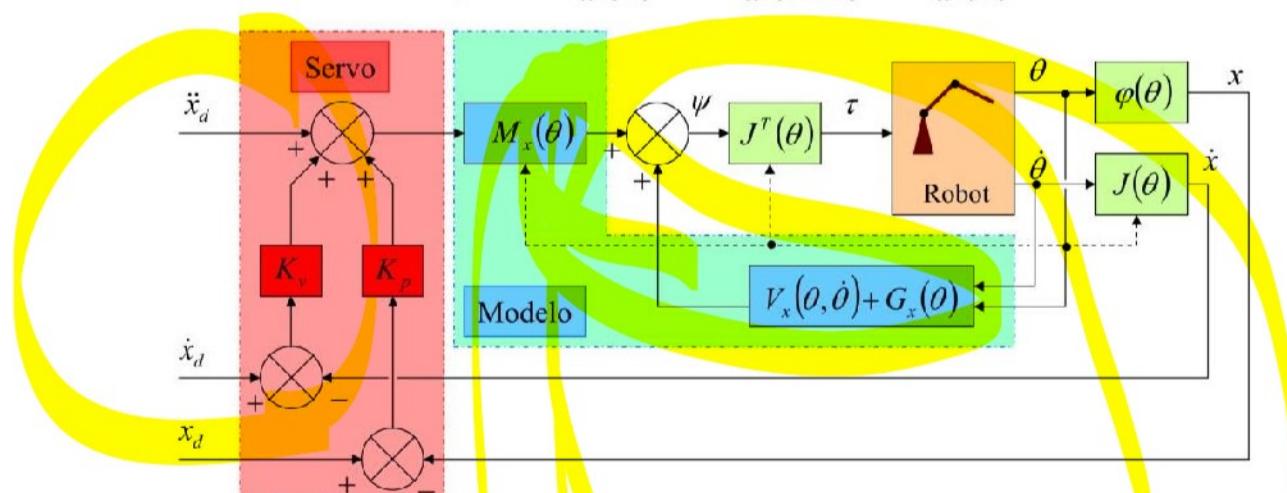
Llega al fondo del agujero.

LN	LA
$v_x = 0$	$\omega_z = 0$
$v_y = 0$	$f_x = 0$
$v_z = 0$	$f_y = 0$
$\omega_x = 0$	$f_z = 0$
$\omega_y = 0$	$n_x = 0$
$n_z = 0$	$n_y = 0$



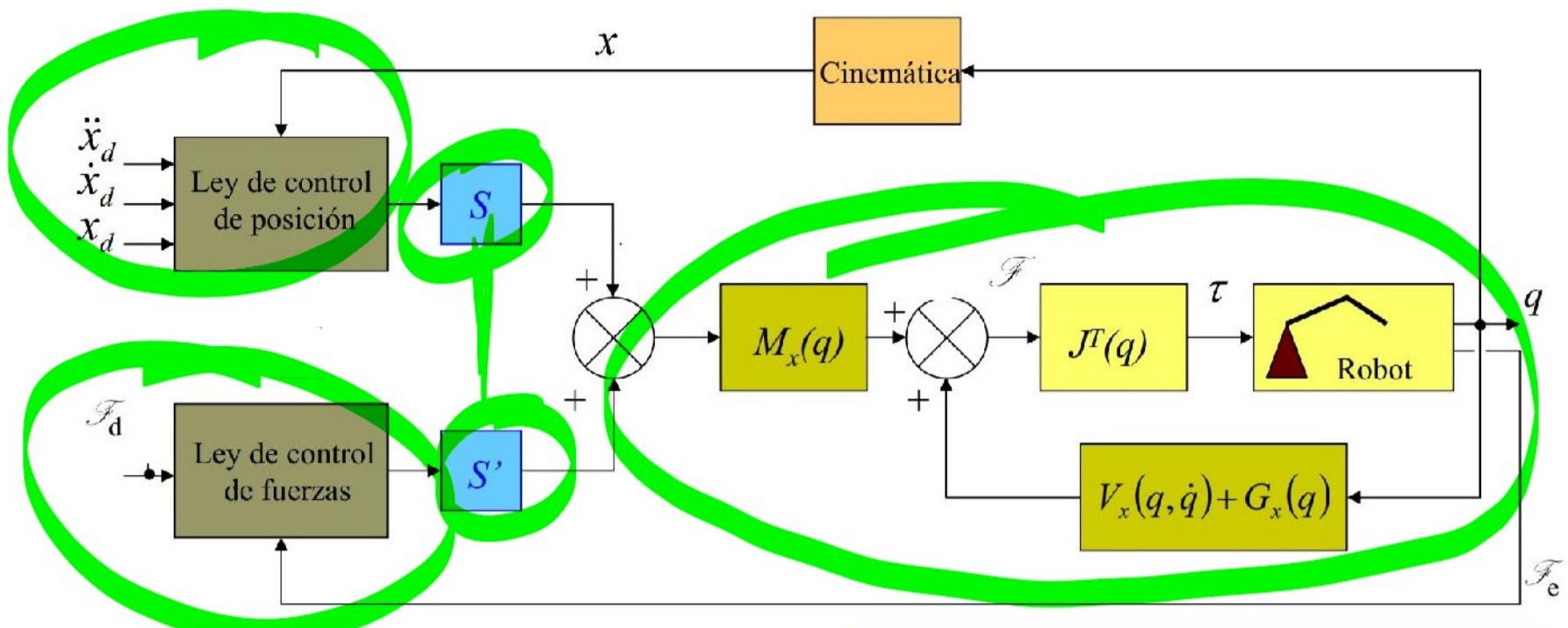
Control Hibrido

$$\psi = M_x(q)\ddot{x} + V_x(q, \dot{q}) + G_x(q)$$



Pos
Fuer

Control Hibrido



La cinemática está escrita para incluir la transformación de coordenadas en el marco de las limitaciones $\{C\}$ y las fuerzas censadas también son transformadas en $\{C\}$. Los errores servo están calculados en $\{C\}$ y los modos de control dentro de $\{C\}$ se establecen mediante elecciones apropiadas de S . S y S' son matrices diagonales de 1s y 0s.