

UTN - FRH

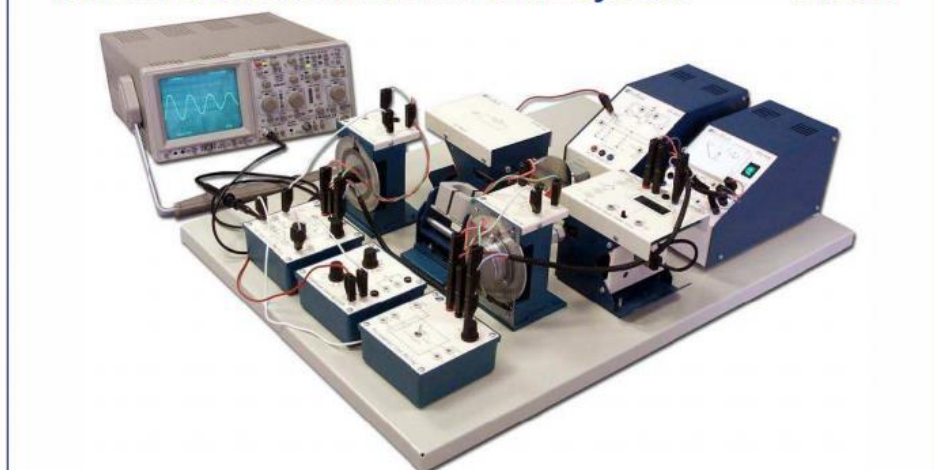
GUÍA DE LABORATORIO "A"

Feedback

Engineering Teaching Solutions

Modular Servo Instructional Servo System

MS150



CÁTEDRA

SISTEMAS DE CONTROL
(Electrónica)

Año 2019 (Rev. 2)

INFORME DE LABORATORIO A

Los trabajos prácticos de laboratorio de la cátedra de Sistemas de Control de UTN – FRH para la carrera de Ingeniería Electrónica se realizarán sobre la base del estudio y análisis de un Motor de Corriente Continua.

Estos laboratorios abarcan gran cantidad de los contenidos de la materia, por lo tanto, de la realización de las prácticas y la posterior confección de los informes correspondientes, el alumno podrá integrar los temas abordados y como se interrelacionan, concatenando los conocimientos tanto del primer como del segundo semestre.

Esta es una de las principales razones por las cuales los TP de Laboratorio eran realizados en el tramo final del año. Este año, en cambio, se realizará una división de los laboratorios con el fin de fijar los contenidos de manera más eficiente.

La correcta comprensión del desarrollo de las prácticas y la realización de los informes brindará un excelente soporte para el estudio además de un instrumento más de evaluación para consumir la promoción de la materia o aprobación de la cursada. A continuación se detalla una breve guía de pautas para sacar el mayor provecho posible a estas prácticas de laboratorio y un mínimo de requisitos que deben contener los informes.

CONSIDERACIONES GENERALES Y GLOBALES:

- Los grupos estarán conformados por no más de 4 alumnos los cuales pueden ser determinados por la cátedra.
- Cada uno de los informes debe tener una carátula indicando: nombres completos y legajos completos de los participantes, Año de cursada, curso, día de cursada, materia, universidad y facultad, Docente, y JTP.
- Cada uno de los informes debe tener índice con detalle.
- Todas las hojas deben estar identificadas a pie de página con número de página y total de páginas, materia, universidad, facultad, y versión del documento.
- Todas las hojas deben estar identificadas a encabezado con nombre de los integrantes.
- Todos los gráficos, ilustraciones, imágenes, esquemas y tablas deben estar correctamente identificados numerados y con una breve descripción.
- Todos los gráficos deben tener correctamente identificados los ejes, escalas y el plano.
- Aclaración para los gráficos de Simulink con Scope (quitar fondo negro), utilizar “To Workspace”, “Scope Viewer Tasks”, “simplot” u otros.
- Todos los gráficos paramétricos o con varios trazos, deben tener una leyenda que los identifique y deben ser dibujados con colores y/o trazos preferentemente. Es obligatorio que se identifique el parámetro que causó la variación y el valor del mismo.

NOTA: Los trabajos se presentan en formato digital en .pdf y .doc en la carpeta de DropBox correspondiente al grupo o el alumno.

IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA

El objetivo del presente práctico es que el alumno obtenga mediante mediciones todos los parámetros característicos del motor de corriente continua, su función transferencia y realice la identificación de todos los componentes pertenecientes al lazo de control de posición angular y al de velocidad angular.

Mediante las mediciones en el laboratorio deberá obtener: las ganancias y constantes de tiempo de todos los componentes pertenecientes al sistema en estudio (motor de corriente continua). Se incluye la determinación de la zona muerta del servomotor y algunas características particulares de los elementos de medición.

Los diferentes elementos componentes de los lazos se arman utilizando un kit didáctico, marca Feedback Ltd. La conexión entre los diferentes módulos se realiza mediante cables con acople tipo rápido (fichas banana). El motor utilizado permite ser conectado en las versiones de control por armadura o campo. Dicha selección se realiza en el frente del amplificador de potencia. Muchas de estas características particulares serán explicadas durante la práctica correspondiente.

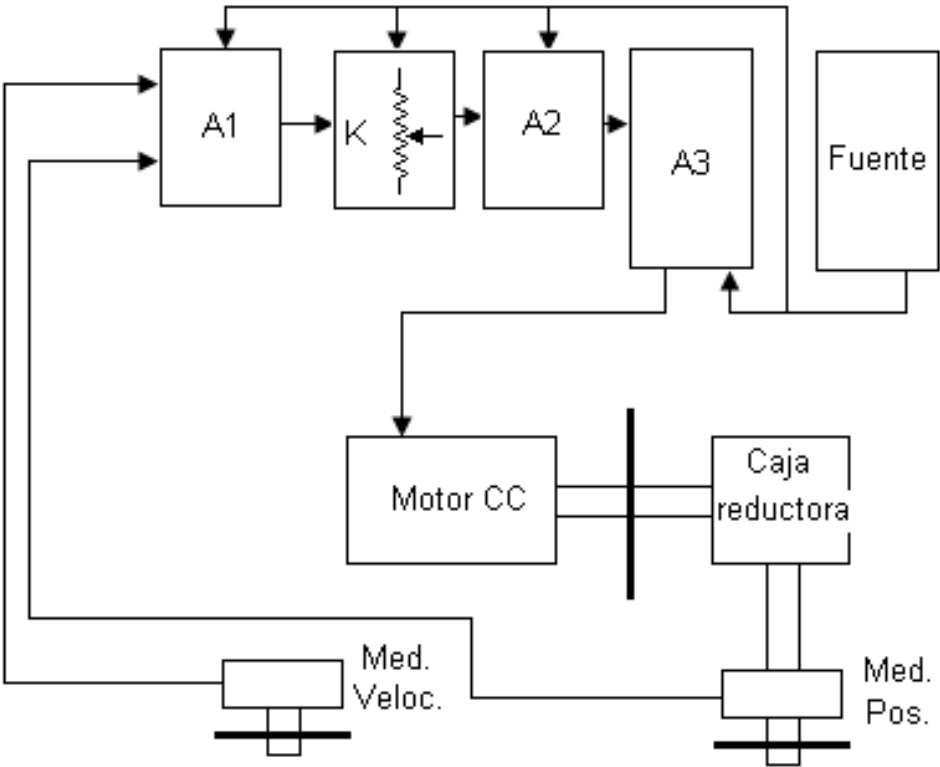
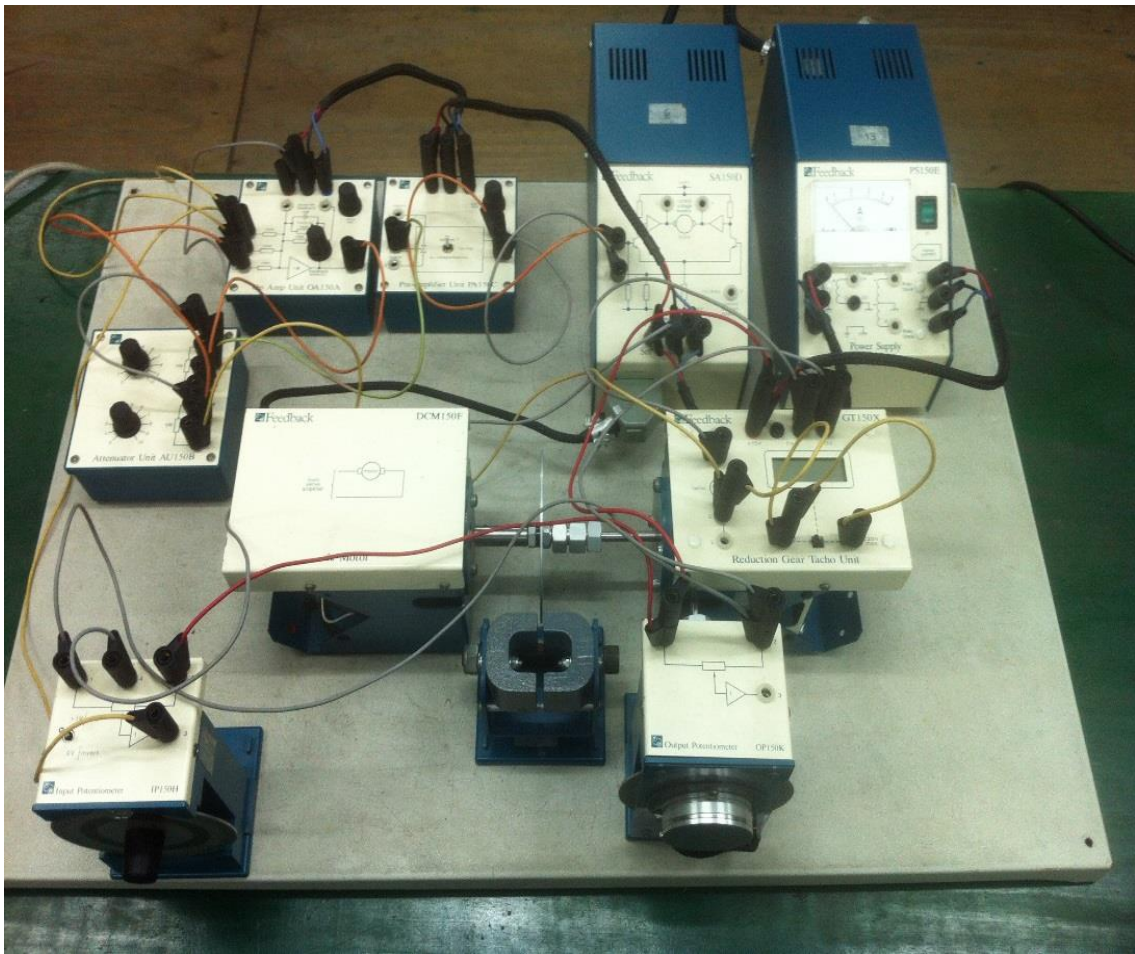
La fuente de alimentación dispone de un amperímetro incorporado (tipo bobina móvil) que tiene en su escala una “zona marcada en rojo”. Debe evitarse incursionar en dicha zona, ya que la fuente tiene un limitador de corriente que produce recorte, dejando de tener un comportamiento lineal y además puede dañar el motor u otros componentes por corriente excesiva.

Instrumentos necesarios: Multímetros digitales, Generador de señales (rectangular, triangular, senoidal) de 0 a 10 Hz, Osciloscopio con memoria de cuatro canales.

Se espera que dentro del informe figuren los siguientes ítems:

1. Tabla final con los resultados de las mediciones, con sus correspondientes unidades.
2. Obtener los polos exactos del denominador de GH.
3. Obtener los polos aproximados, es decir la inversa de los tiempos (o Tau) medidos.
4. Obtener el modelo de estados.
5. Desarrollar los diagramas en bloques y simulaciones necesarias en Simulink
6. Calcular el error porcentual cometido al realizar el cálculo de los polos aproximados respecto de los polos exactos.
7. Justificar el uso práctico de la inversa de los TAU (" τ ") en vez de los polos exactos, pese al error introducido.
8. Explicación detallada de cada uno de los pasos de medición de cada parámetro, incluyendo: fotos, capturas de osciloscopios, formas de medición utilizadas y el por qué de cada acción tomada.
9. Cumplimentar los ítems conceptuales pedidos a lo largo del laboratorio.
10. Completar el cuadro de valores solicitado
11. Realizar las actividades que se encontraran al final de la presente guía.
12. Dejar plasmadas las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo y posterior análisis de todas las labores realizadas.

Presentación del Kit FeedBack



TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO "A"

A continuación vemos los diagramas de bloques correspondientes a los lazos de control de posición y velocidad angular, que se utilizarán en este trabajo de laboratorio, el alumno debe familiarizarse con el equipo e interpretar las conexiones y elementos intervinientes.

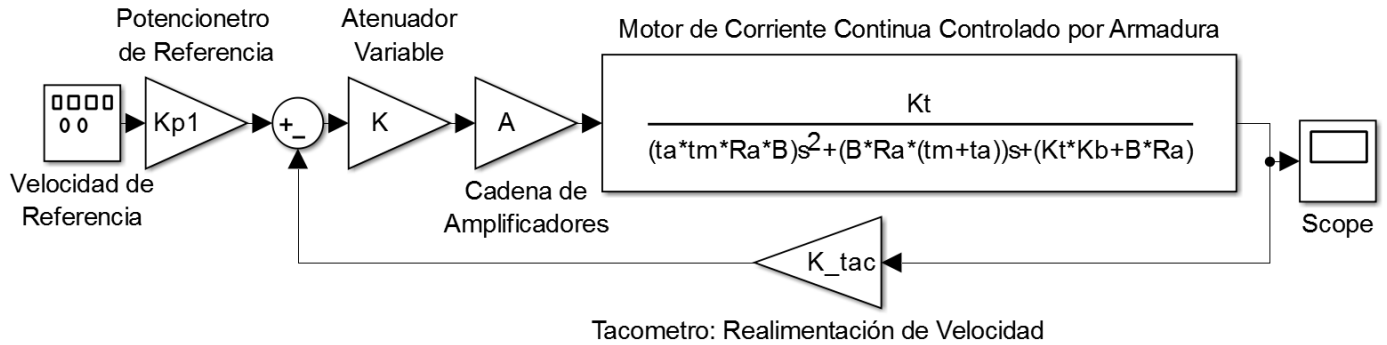


Figura 1: Diagrama en bloques para el control de velocidad angular.

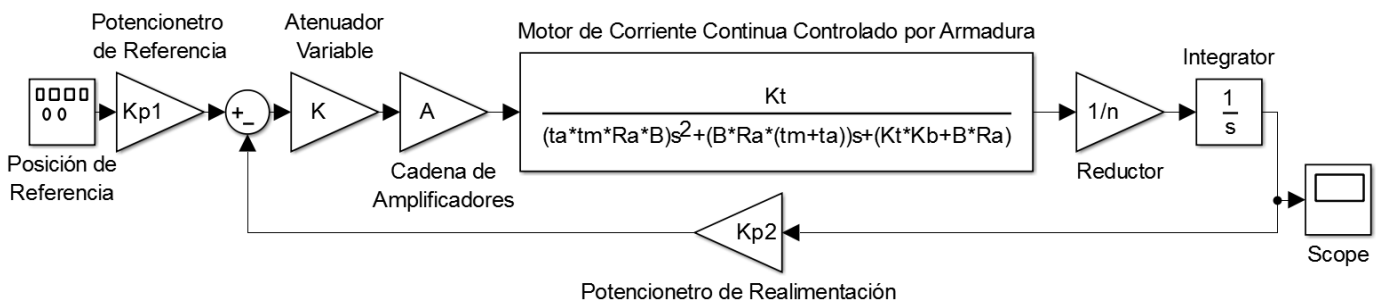


Figura 2: Diagrama en bloques para el control de posición angular.

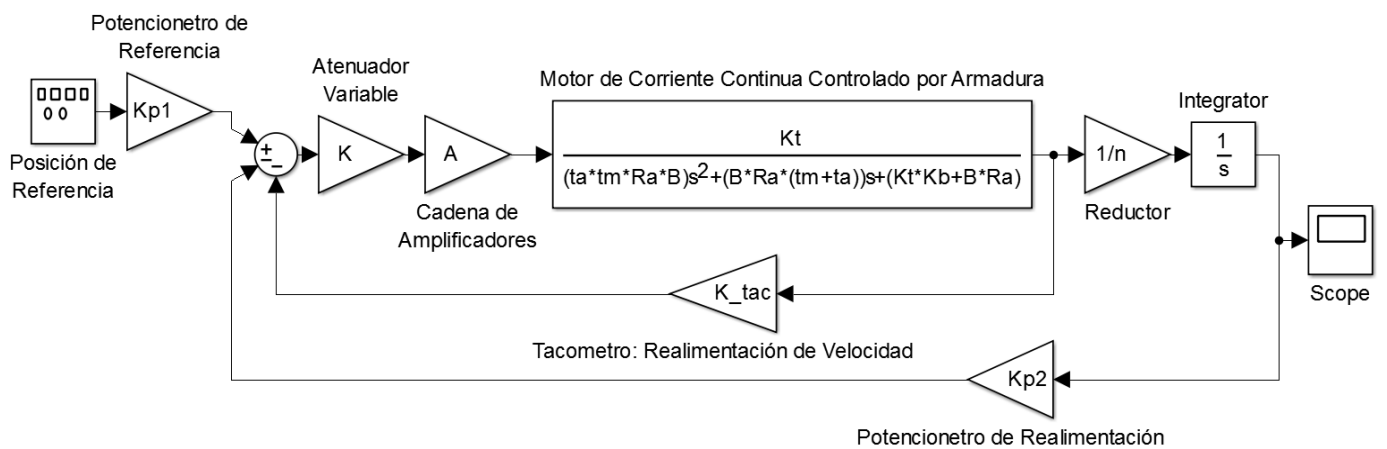


Figura 3: Diagrama en bloques con realimentación de velocidad y posición angular.

Punto Conceptual 1:

Los grupos deben identificar cada uno de los elementos intervinientes en el kit didáctico, tomar fotografías y realizar una breve descripción de cada uno y su función.

En primera instancia volveremos sobre el diagrama eléctrico equivalente del motor de corriente continua, el circuito analógico equivalente que usaremos es el que representa un motor controlado por armadura.

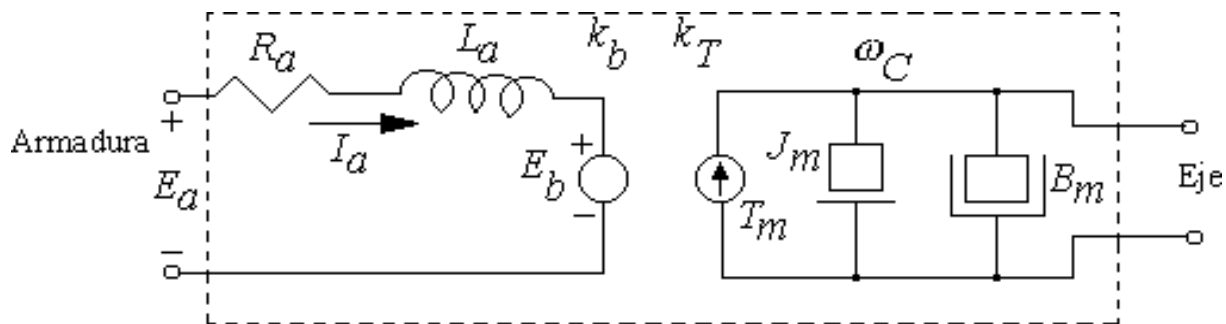


Figura 4: Modelo equivalente analógico del motor de CC.

Punto Conceptual 2:

Los grupos deben identificar y enumerar cada uno de los parámetros que deben IDENTIFICARSE para poder desarrollar el modelo equivalente. Sumado a ello deberá dar una descripción de su procedencia y composición.

Además se pide que desarrollen las ecuaciones diferenciales correspondientes al modelo planteado y la función transferencia resultante tomando todos los elementos representados.

Unos parámetros que nos interesan son las constantes de tensión (k_b) y cupla (k_t) estas son propias de la construcción del motor. En el Sistema Internacional de Unidades (que es el que utilizaremos) estas constantes resultan ser numéricamente iguales (tienen unidades diferentes), es decir

$$|k_t| = |k_b|$$

Punto Conceptual 3:

Los alumnos deberán dar una explicación del por qué estos parámetros mencionados (K_b y K_t) son considerados numéricamente iguales, que significa eso en términos físicos, analizar si cabe la posibilidad de que no lo sean numéricamente iguales y la consecuencia de ese razonamiento.

Sobre la base de la **figura 4**, se obtiene el diagrama de bloques equivalente de la **figura 5**, donde se indica la transferencia del motor en función de los parámetros y las constantes de tiempo del mismo.

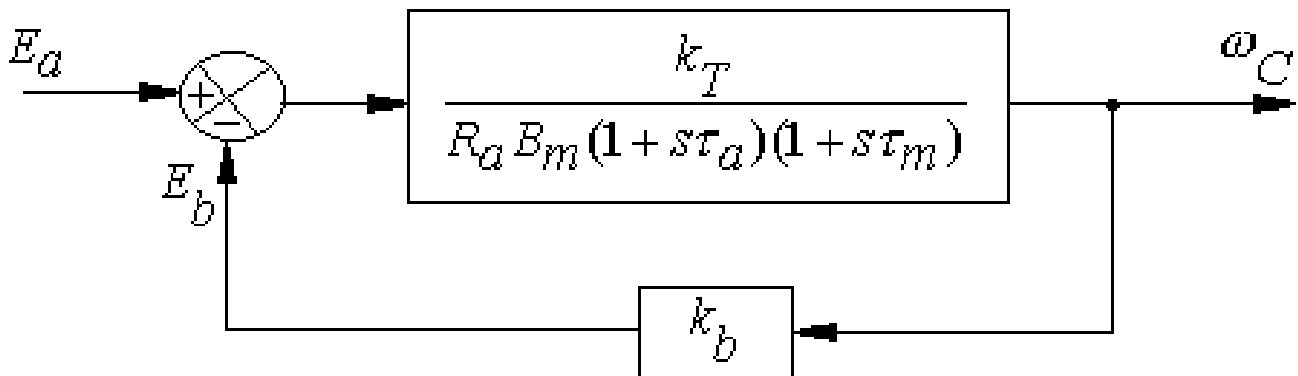


Figura 5: Diagrama en bloques del motor.

Punto Conceptual 4:

Los alumnos deberán dar una explicación acabada del por qué de la existencia del lazo de realimentación de velocidad, a que se debe, su comportamiento en el funcionamiento a lazo abierto del motor, ¿es posible eliminarlo?, si usamos el motor como generador de posición ¿qué le ocurre a este lazo?

*Explique las ventajas (si es que las hay) del modelo representado en la **figura 5** respecto al presentado en la **figura 4**. Nota: concéntrese sólo en la representación en bloque del motor.*

Sobre la base de la **figura 5**, es posible obtener la función transferencia del motor de manera muy rápida, es decir:

$$\frac{\omega_c}{E_a}(s) = \frac{k_t}{R_a \times B_m \times (1 + s \times \tau_a) \times (1 + s \times \tau_m) + (k_t \times k_b)}$$

Si desarrollamos la transferencia a partir del modelo representado en la figura 3 (tal como se solicitó) podemos hallar por simple inspección la correspondencia entre los TAU (τ_m y τ_a) y los componentes constructivos del motor.

$$\tau_m = \frac{J_m}{B_m} \quad \& \quad \tau_a = \frac{L_a}{R_a}$$

Punto Conceptual 5:

Los alumnos deberán explicar el por qué se utilizan las constantes de tiempo y no directamente los parámetros constructivos del motor en la función transferencia presentada.

El procedimiento de registro de la corriente de armadura es clave para el trabajo que vamos a realizar, este es mediante el uso de osciloscopio debido a que necesitamos hacer un análisis dinámico. Muchas veces por razones prácticas, es conveniente emplear una resistencia adicional conocida, conectada en serie con la armadura y a través de la tensión medida en esta resistencia auxiliar " R_{ar} " (que resultará ser proporcional a la corriente " i_a ") se permitirá visualizar lo indicado en la **figura 6**.

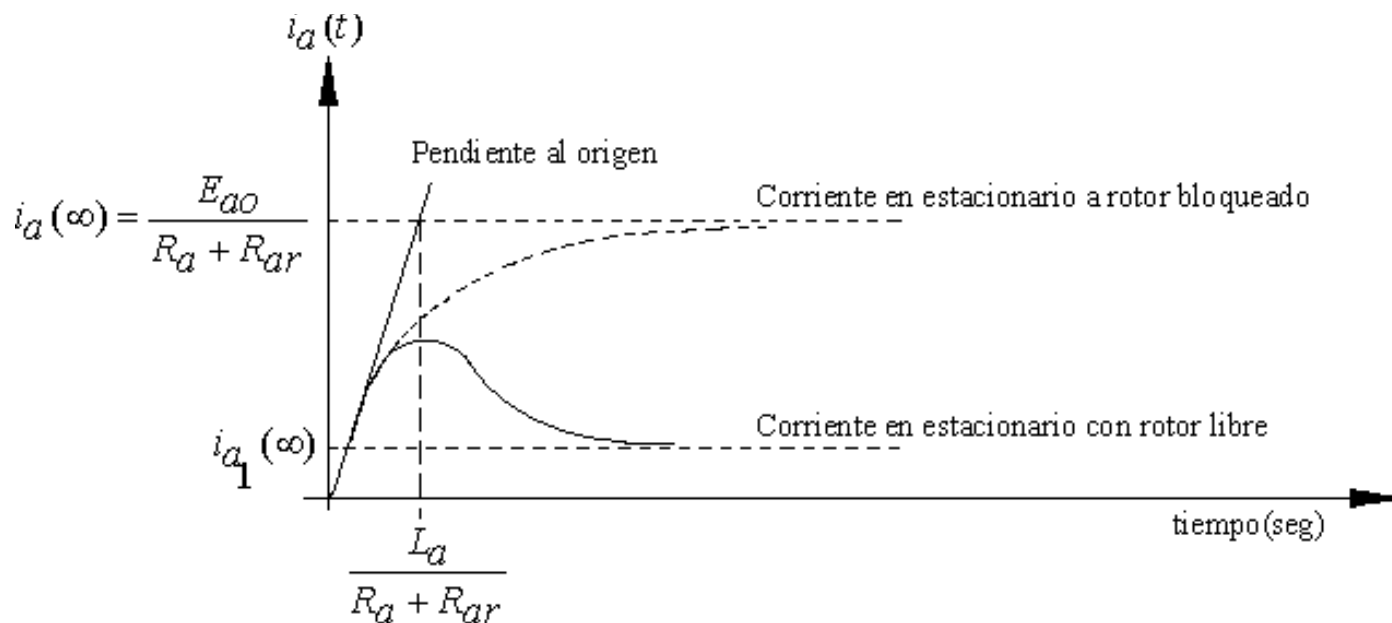


Figura 6: Corriente de armadura con rotor libre y aceleración
(Excitado con escalón de amplitud E_{ao})

Para el caso del kit, con el cual vamos a hacer la identificación de parámetros, tenemos disponible sobre el puente "H", con el cual alimentamos al motor, una resistencia " R_{ar} " la cual es de precisión y esta calibrada para que la medición realizada sobre ella sea $1A/1V$. Con lo cual podemos colocar la punta del osciloscopio en el terminal destinado para ello y la curva representada en la pantalla corresponderá a la corriente de armadura.

Punto Conceptual 6:

Los alumnos deberán explicar los motivos por los cuales se usaría el método detallado anteriormente. Explique a que se refiere el agregado de la resistencia adicional.

MEDICIONES

1. Medición de la resistencia de armadura " R_a ":

Con el rotor (armadura) en reposo, es decir bloqueado, se aplica una tensión de excitación, con lo cual circulará una corriente de armadura (" I_a "). Midiendo la tensión aplicada y la corriente se puede calcular la resistencia de armadura (" R_a "), mediante la Ley de Ohm:

$$R_a = \frac{E_a}{I_a} \quad \& \quad \omega_{(t)} = 0 \text{ rad/s} \quad \& \quad e_b = k_b \times \omega_{(t)} = 0 \text{ v}$$

Nota importante: Si se utiliza la fuente del Kit, para alimentar la armadura, se deberá evitar sobrepasar la zona prohibida (roja) indicada en el amperímetro del módulo fuente.

Punto Conceptual 7:

Los alumnos deberán explicar el que pasaría si este motor fuera de alto torque, por ejemplo 300hp, Explique:

¿Es viable? ¿Qué problemas se presentarían para realizarlo?

¿Qué entiende por ensayo a tensión reducida? ¿Qué ventaja puede aportar?

Punto Conceptual 8:

Tras analizar las curvas de respuesta de la corriente de armadura y ya habiendo realizado la medición de la resistencia de armadura, Explique:

¿Qué clase de resistencia se midió?

¿Existe alguna relación entre la resistencia óhmica y la medida?

2. Medición de la constante de tiempo eléctrica " τ_a "

Si con el rotor bloqueado, se aplica un escalón de tensión en la armadura, es fácil deducir que la corriente evolucionará según una exponencial regida por el circuito serie formado por " L_a " y " R_a ".

Por lo tanto la corriente está dada por la siguiente ecuación:

$$i_a(t) = \frac{e_{a0}}{R_a} \times (1 - e^{-t/\tau_a})$$

Nota: e_{a0} es la amplitud del escalón aplicado.

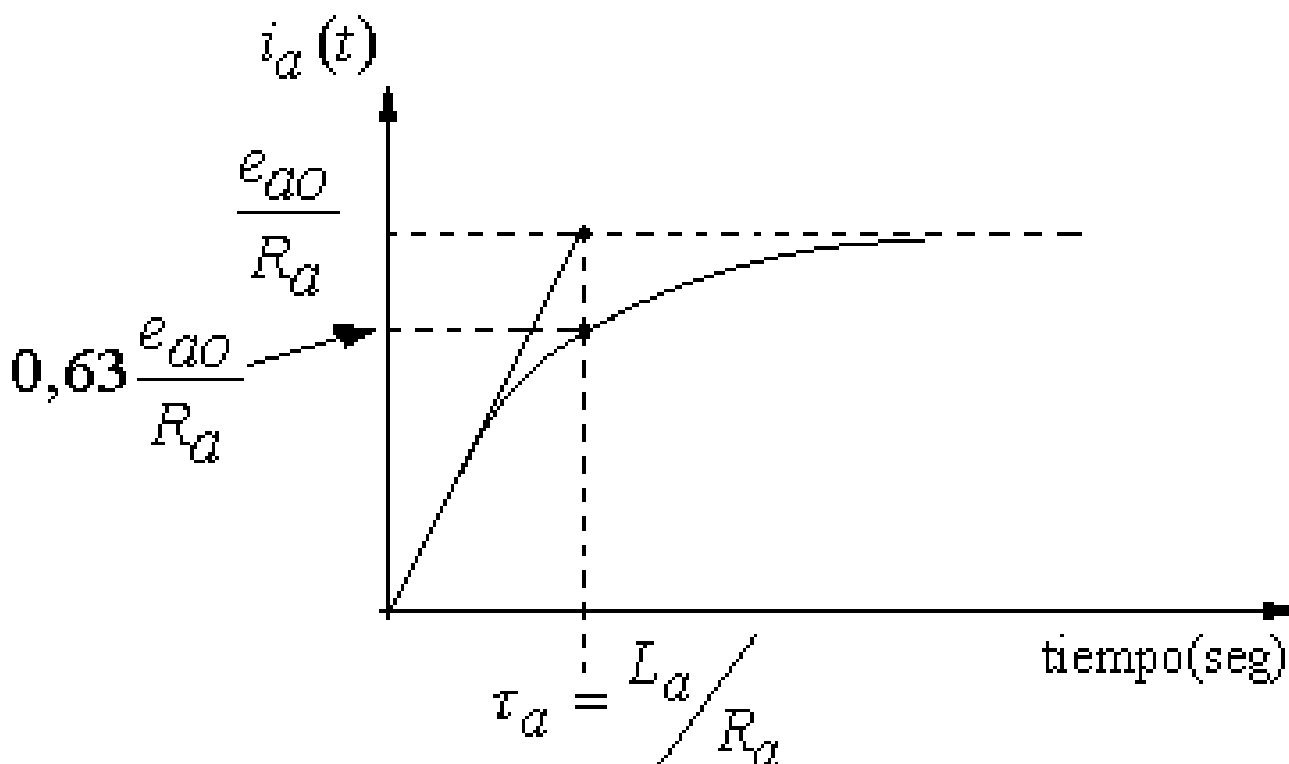


Figura 7: Gráfico de la corriente de armadura a rotor bloqueado y excitación escalón.

Valiéndonos de un osciloscopio con memoria registramos la evolución de la corriente de armadura del motor bajo estudio. Lo que obtendremos es un gráfico como el indicado en la **figura 6**.

Mediante el análisis del gráfico, midiendo la pendiente al origen y proyectando sobre el valor final de la señal o bien con el **63% del valor final**, se obtiene la constante de tiempo de armadura.

Una vez medida " τ_a ", se calcula la inductancia de armadura " L_a ", mediante el uso de la relación ya estudiada:

$$L_a = R_a \times \tau_a$$

Punto Conceptual 9:

Tras analizar las curvas de respuesta de la corriente de armadura:

¿Qué haría para evitar sobrecalentamiento del bobinado de armadura?

Esta elevación de la temperatura ocasionaría entre otros efectos que se modificará " R_a " debido a la temperatura según la ecuación $\{R_a = R_{a0} (1 + \alpha \cdot T)\}$:

¿Qué peso tiene esta variación sobre la resistencia experimental hallada anteriormente?

3. Medición alternativa para medir " L_a "

Midiendo la pendiente al origen en la curva de la **figura 8**, se puede determinar la inductancia de armadura " L_a ", mediante las relaciones conocidas:

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a} \quad \& \quad \text{Pendiente al Origen} = \frac{i_{a1(\infty)}}{\tau_a} \quad \& \quad R_a = \frac{E_{a0}}{i_{a1(\infty)}}$$

$$L_a = \frac{E_{a0}}{i_{a1(\infty)}} \times \tau_a$$

4. Medición de la constante de tensión " K_b "

Para esta medición vamos a necesitar que el rotor del motor este libre, el procedimiento debe ser de tal precisión que se alimenta la armadura con una señal de tensión de tipo escalón. Es de suma importancia que el escalón sea tal, no pudiendo admitirse otro tipo de señal de excitación.

Bajo estas condiciones se debe registrar la evolución de la corriente de armadura en función del tiempo desde el instante exacto de inicio de la señal de excitación. La corriente crecerá instantáneamente según lo predicho en la ecuación de mallas de la parte eléctrica del modelo.

Cuando el motor comienza a moverse, aparecerá la fuerza contra electromotriz (" E_b "), producto de los efectos de la malla mecánica sobre la eléctrica, y la corriente se apartará del crecimiento predicho por el circuito eléctrico. Con lo cual para analizar la evolución a rotor libre de la armadura debemos hacer según la ecuación vinculante indicada a continuación:

$$e_{a(t)} - k_b \times \omega(t) = R_a \times i_{a(t)} + L_a \times \frac{di_{a(t)}}{dt}$$

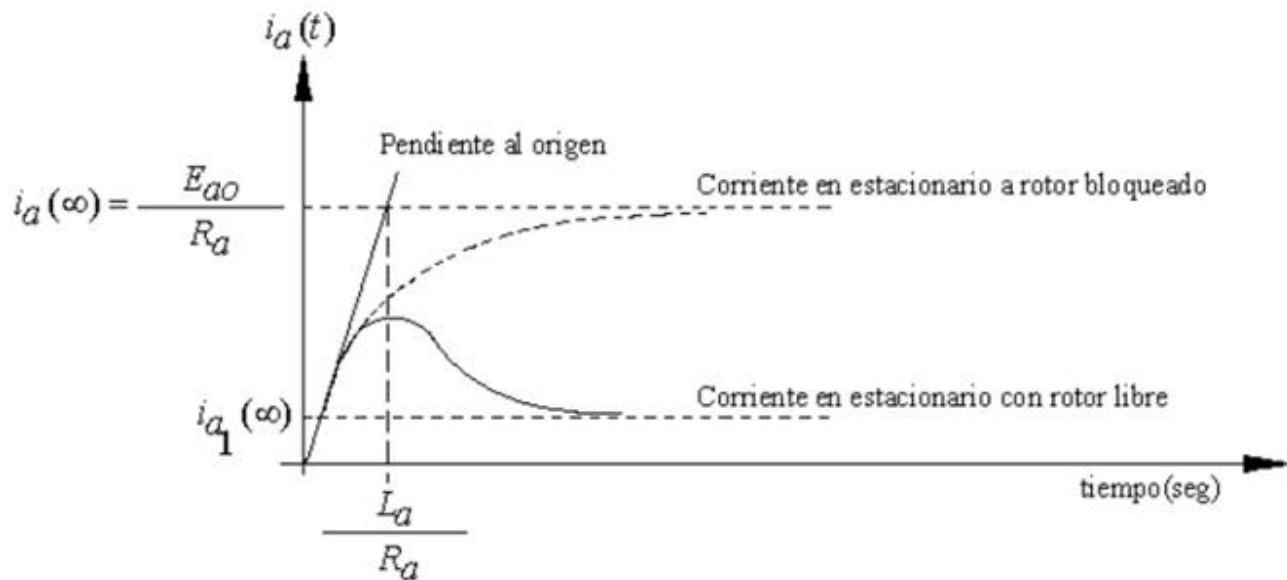


Figura 8: Corriente de armadura con rotor libre y aceleración
(Excitado con escalón de amplitud " E_{a0} ")

Midiendo la tensión de armadura " E_{a0} ", la corriente " i_{a1} " en estacionario (∞), y la velocidad angular " ω " en estacionario (∞), se puede calcular la constante de tensión " K_b " del motor, mediante la aplicación de la ecuación resultante de este análisis:

$$E_{a0} - i_{a1(\infty)} \times R_a = K_b \times \omega_{(\infty)} \quad \approx \approx > \quad k_b = \frac{E_{a0} - i_{a1(\infty)} \times R_a}{\omega_{(\infty)}}$$

Punto Conceptual 10:

Para medir velocidad angular, el Kit provee un disco estroboscópico solidario al potenciómetro de salida. Dicho disco está acoplado al eje del motor mediante una caja reductora de relación (" η ") 1:30.

Ajustando la tensión aplicada a la armadura, se tratará de sincronizar el disco estroboscópico con la frecuencia de la iluminación artificial del laboratorio (es decir 50 Hz). El sincronismo se logra cuando el disco estroboscópico se ve "quieto" (es decir, para el ojo del observador aparenta estar quieto, "no gira").

También se puede medir la velocidad mediante el tacómetro acoplado al motor, si previamente se determina la constante del mismo (" K_{tac} "), supuesto lineal.

Los alumnos deberán explicar el proceso de medición mediante el disco estroboscópico en detalle y proponer otra manera de medir la velocidad angular con sus respectivos datos técnicos.

5. Determinación de la constante de cupla "kt"

Trabajando en el Sistema Internacional de Unidades y teniendo en cuenta que el motor de corriente continua es una máquina reversible por lo que sus parámetros constructivos respetan cierta simetría la constante de cupla " k_t ", es numéricamente igual a la constante de tensión " k_b ", es decir $|k_b|=|k_t|$ por lo tanto podemos llegar a esta conclusión:

$$\left| k_t \left[\frac{N \cdot m}{A} \right] \right| = \left| k_b \left[\frac{V}{rad} \right] \right|$$

6. Medición del rozamiento viscoso " B_* "

Para esta medición nos valemos de las curvas ya registradas en el **punto 3**.

El motor comienza a moverse, cuando producto de los efectos de la malla eléctrica sobre la mecánica, aparecerá un generador de torque en esta última. Para analizar la evolución a rotor libre debemos hacerlo según la ecuación vinculante indicada a continuación:

$$T_{(t)} = i_{a(t)} \times K_t = \left(\omega_{(t)} \times B_* + \frac{d\omega_{(t)}}{dt} \times J_* \right)$$

Una vez ya determinadas la corriente " i_{a1} " en estacionario (∞) y la velocidad angular " ω " en estacionario (∞); sabiendo que en el Sistema Internacional de Unidades $|k_b|=|k_t|$, se puede determinar el rozamiento viscoso del motor, mediante el análisis de la malla mecánica del motor y de sus ecuaciones pero a régimen permanente.

$$I_{a1(\infty)} \times K_t = \omega_{(\infty)} \times B_* \approx \approx > B_* = \frac{I_{a1(\infty)} \times K_t}{\omega_{(\infty)}}$$

Punto Conceptual 11:

El alumno deberá describir los efectos de la caja reductora (ver **figura 9**), como afectan la medición realizada y explicar:

¿Qué error se está infiriendo? ¿Fue bien realizado el procedimiento?

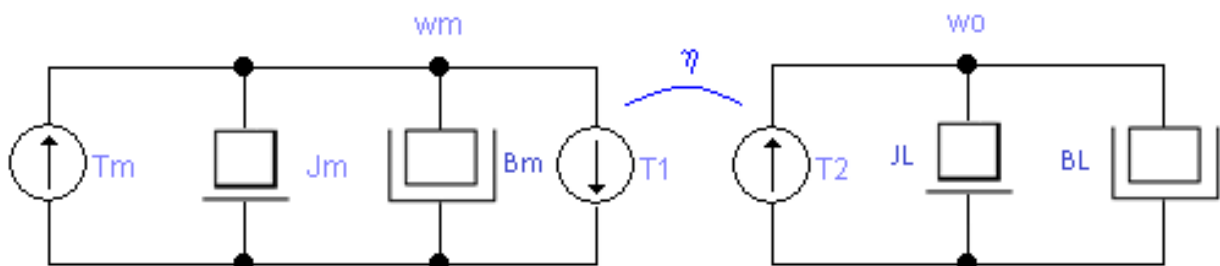


Figura 9: Modelo equivalente de transformación de torque

7. Medición de la constante de tiempo mecánica " τ_m "

Una forma práctica de ver la evolución de la velocidad angular del motor es mediante la medición de ésta sobre el eje, donde se encuentra toda la información de las variables de estado mecánica: aceleración, velocidad y posición.

Sobre la base de lo hecho en los ensayos anteriores y como en estos, se debe determinar el tipo de señal de excitación con la que se alimenta el motor. Lo que se requiere para este ensayo es que se llegue a velocidad de régimen estacionario (" ω_∞ "). Para ello se requiere una tensión constante de alimentación por un tiempo superior a seis constantes de tiempo, con lo cual la velocidad angular también será constante. Una vez allí se procede a quitar la tensión de armadura, considerando que se requiere un método de desconexión de alta velocidad, como consecuencia de ello, la velocidad angular del motor disminuirá linealmente, de acuerdo a lo indicado por el gráfico de la **figura 10**.

Nota: Consultar Trabajo Teórico publicado por Ing. A.M.Mariani y Lic. E. Ciccolella en Revista Tecnología y Ciencia de UTN. Consultar Publicación "Proyecciones", UTN, Año1 N°2 -Octubre 2003 Autores: Ing. A.M.Mariani y Lic. E. Ciccolella.

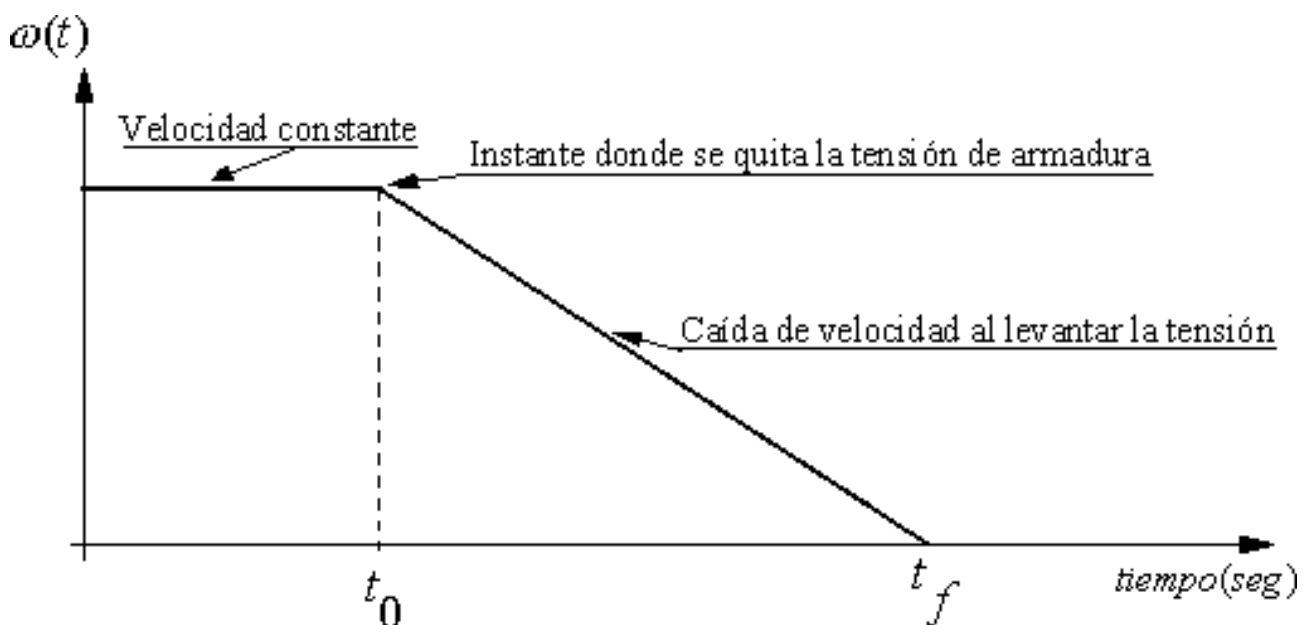


Figura 10: Descenso de la velocidad, al quitar la tensión de armadura. (Se debe utilizar un interruptor de acción rápida)

Esta gráfica estaría contradiciendo lo que se vio en la teoría dada en clase, que predice una exponencial decreciente. Existe algo llamado rozamientos dinámicos, los cuales son dominantes en motores con tren de engranajes integrados. Estos son los responsables de la recta arriba descripta.

Dicho gráfico se podría obtener mediante el registro de la tensión en el tacómetro con un osciloscopio, y se determina luego la constante de tiempo mecánica del motor, según la ecuación:

$$\tau_m = t_f - t_0$$

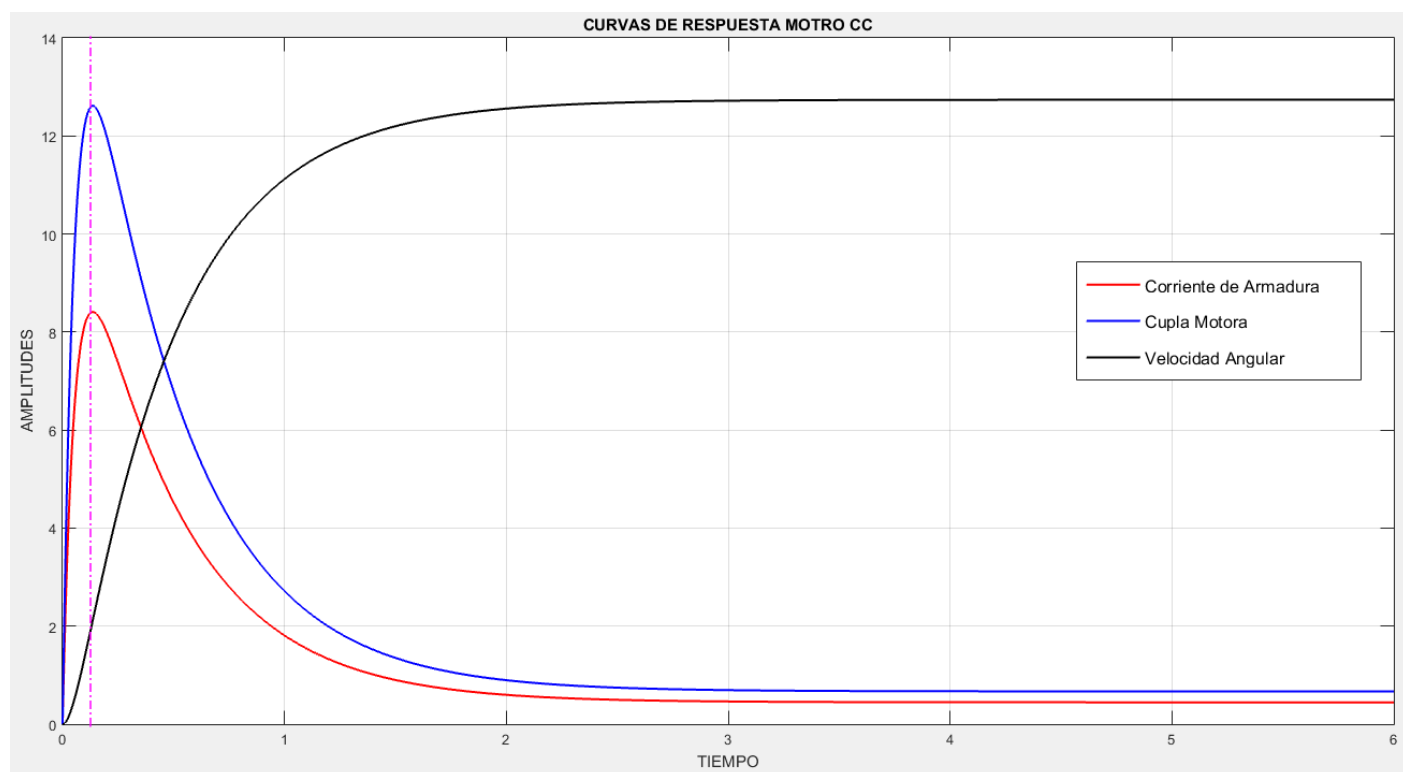
Como se puede ver, hay estudios teóricos / prácticos que avalan estas relaciones y la curva de la **figura 10**. No obstante, este estudio tiene limitaciones de aplicación, debido a los rozamientos dinámicos de baja velocidad, los cuales son dominantes, como es de esperarse, a bajas velocidades, en especial en motores con tren de engranajes integrados y bajo momento de inercia. Debido a esto nos vemos imposibilitados de realizar la medición descripta en los párrafos anteriores, porque aparecerá una deformación en el último tramo de la recta predicha.

Sobre el tacómetro suministrado en el kit se puede medir, mediante el uso del osciloscopio, la tensión equivalente y de este modo se grafica la curva de velocidad en función del tiempo. Pero esta será la que resulte de pasar a través de la caja reductora asociada al eje, con lo cual veremos todos los efectos antes descriptos.

Dado que el sistema es lineal y la dinámica de las curvas está gobernada por los polos del sistema, la curva de desaceleración será idéntica a la de aceleración, por lo tanto para salvar el problema de los rozamientos que deforman a la primera, podemos tomar como " τ_m " al tiempo que tarda en llegar al 63% la curva de crecimiento de velocidad (respecto al régimen estacionario a " ω_∞ ").

Un método alternativo al del párrafo anterior es el análisis de la corriente de armadura a rotor libre, esta corriente decaerá con la misma dinámica con la que la velocidad angular aumenta, con lo cual podemos concluir que al medir el 37% respecto al valor de régimen permanente de " i_a " estaríamos en presencia de la constante de tiempo mecánica (" τ_m ")

Todas estas mediciones mencionadas deben ser documentadas debidamente y explicadas por los alumnos en cada trabajo presentado, cuantificando los " τ_m " en cada caso y corroborando los correctamente medidos.



Punto Conceptual 12:

El alumno deberá describir los efectos de los rozamientos dinámicos y como éste deforma la curva predicha en clase y la detallada en este trabajo (recta).

También deberá dar una explicación (en base a los documentos dados) de porque se estipula que la curva de desaceleración será una recta y no lo que se vio en la teoría.

8. Medición del momento de inercia del motor ("J*")

Continuando con la identificación de los parámetros del motor de corriente continua llegamos al momento de la inercia, para este tipo de ensayo el motor tiene que estar en vacío, caso contrario se deberá conocer los parámetros de carga aplicada al mismo ("J_L" y "B_L").

Luego se calcula el momento de inercia del motor, mediante la relación:

$$J_* = B_* \times \tau_m$$

Punto Conceptual 13:

Tras analizar las curvas de respuesta de la corriente de armadura a rotor libre y luego de efectuar las mediciones del momento de inercia:

¿Qué ocurre en motores de gran momento de inercia con la curva de respuesta en velocidad? (recuerde que este es un modelo de segundo orden); ¿Por qué no se visualiza esos efectos en este motor a simple vista?

En física existe toda una disciplina para el análisis y cálculo de los momentos de inercia, ¿el tipo de medición que realizamos en este ensayo dónde estaría encuadrada? ¿Qué ventajas y desventajas ve en lo realizado?

9. Medición de las constantes de los potenciómetros "Kp1" y "Kp2"

Para los potenciómetros de entrada con tope y de salida sin tope, la determinación de las constantes, se realiza aplicando una rotación conocida al cursor en la entrada y midiendo la tensión obtenida en el mismo a la salida. En la **figura 12** se indica lo descripto anteriormente.

Como los potenciómetros son lineales, la constante de los mismos se corresponden con la pendiente de la recta indicada en la **figura 12**.

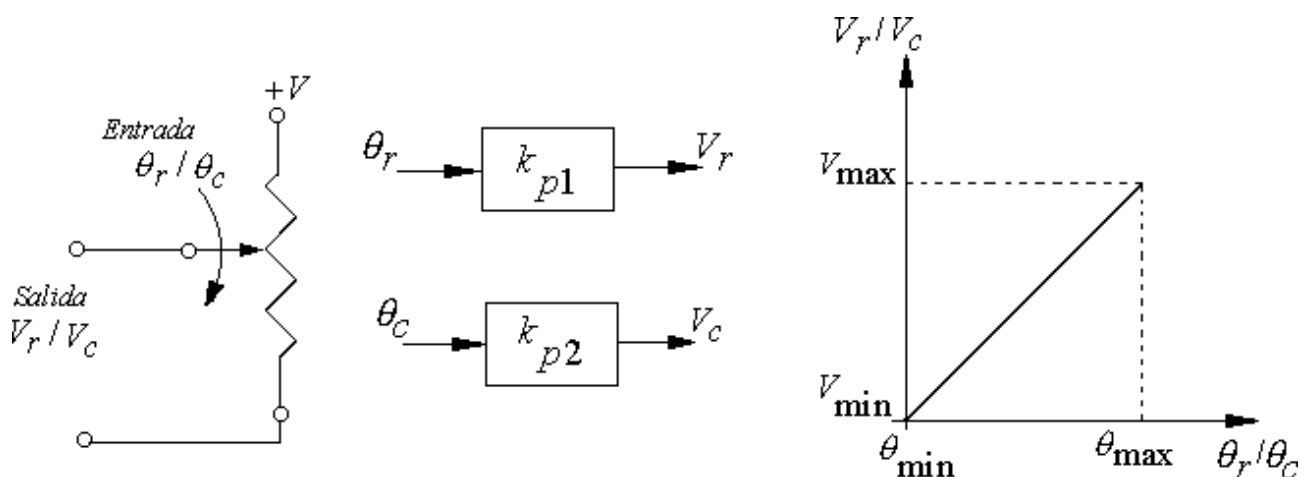


Figura 12: Determinación de las constantes de los potenciómetros.

Por lo tanto las constantes de los potenciómetros, se calculan mediante:

$$K_{p1} = \frac{V_{r2} - V_{r1}}{\theta_{r2} - \theta_{r1}} \quad \& \quad K_{p2} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{\theta_{c2} - \theta_{c1}}$$

Para asegurarnos de que es correcto este procedimiento llevaremos a cabo una segunda medición, esta vez de la respuesta temporal de los potenciómetros, de este modo corroborar el análisis previo.

Esta medición consiste en trazar la curva temporal de respuesta mediante el uso de un osciloscopio, para ello hacemos girar al motor a velocidad constante y medimos la tensión entre el punto medio y la referencia de tensión de fuente.

Tras esta medición obtenemos una gráfica como la siguiente:

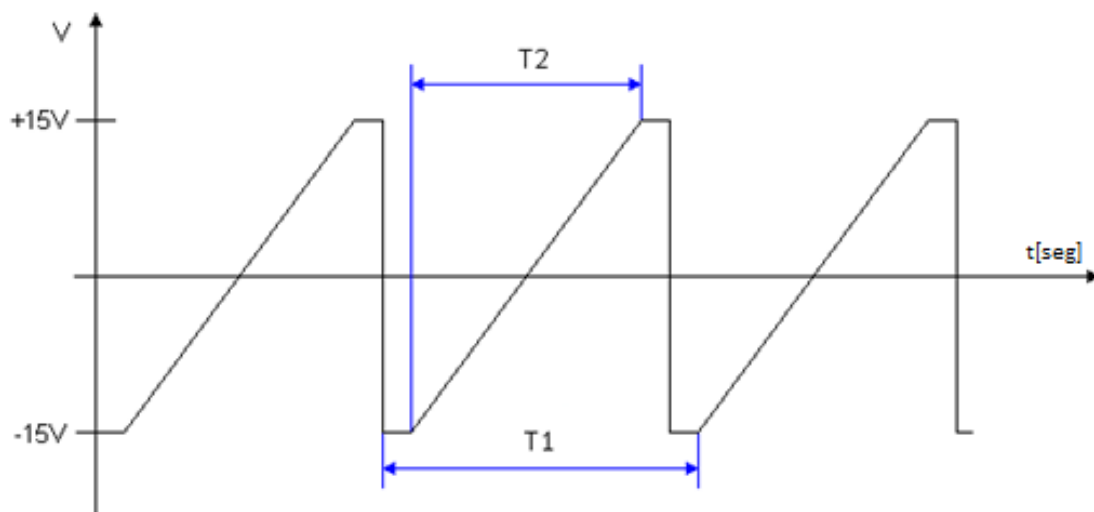


Figura 13: Respuesta temporal de los potenciómetros.

De esta respuesta temporal sale la conclusión que los potenciómetros deben ser sometidos a un análisis más profundo que el encarado en párrafos anteriores. Para entender esto debemos analizar constructivamente el artefacto en cuestión:

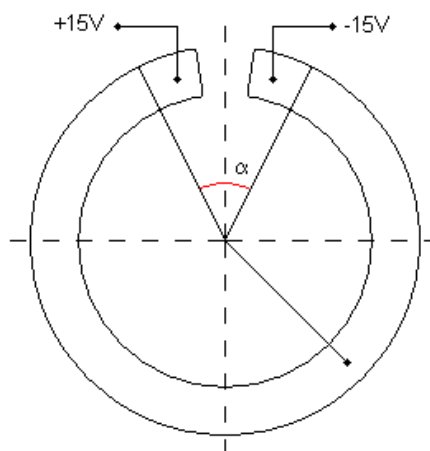


Figura 14: Forma física de los potenciómetros de control.

Vemos que de los 360 grados de giro que posee el dispositivo solo de una parte, dando como resultado zonas de trabajo distintas a las esperadas, los alumnos deben determinar las constantes reales de los potenciómetros, las cuales distan de las ideales planteadas anteriormente.

Punto Conceptual 14:

Tras analizar las curvas de respuesta de los potenciómetros:

¿Estos son realmente "lineales" como se asevera en párrafos anteriores?

Describe y explique las curvas reales de los potenciómetros y la forma en la que estos realmente trabajan.

10. Medición de la ganancia de la cadena amplificadora

La amplificación de cadena directa, ver **figura 15**, está provista por una serie de amplificadores en cascada, de manera que midiendo la tensión de corriente continua en armadura y la tensión de corriente continua a la salida del sumador, podremos calcular la amplificación " A_T ", antes de realizar la medición, se deberá ajustar el cero y el offset de los amplificadores correspondientes.

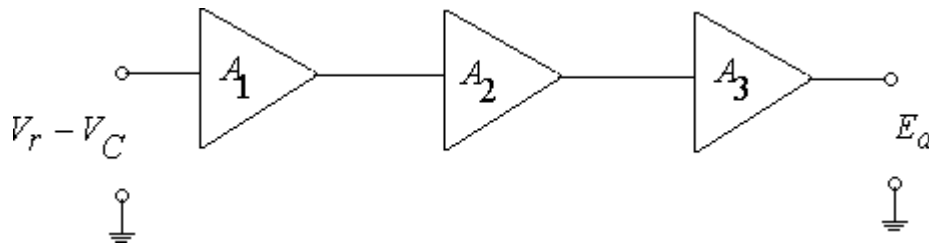


Figura 15: Determinación de las ganancias de los amplificadores

La amplificación, ganancia en estacionario, se calcula mediante la fórmula:

$$A_T = \frac{E_a}{V_r - V_c}$$

Punto Conceptual 15:

Como es de conocimiento de un alumno del quinto año de ingeniería, toda cadena amplificadora indefectiblemente incorpora singularidades en las transferencias que interviene.

¿Cuál es el motivo por el que se omite estas en la medición anterior?

¿En que afecta la veracidad de la medición realizada?

11. Medición de la constante " K_{Tac} " de la Generatriz taquimétrica (tacómetro)

El tacómetro es un generador de corriente continua que está acoplado al eje del motor. De manera tal que haciendo girar el motor a velocidad constante, obtendremos a la salida del tacómetro una tensión constante.

Además se dispone de un medidor digital electrónico de RPM, con lo que se puede obtener una serie de valores en estacionario, de este modo ajustar los mismos mediante cuadrados mínimos con la recta más probable.

Como en el laboratorio disponemos de varios métodos de medición:

- Realizaremos la medición en un punto dentro del rango de trabajo mediante el disco estroboscópico y calcularemos la constante del tacómetro sobre la base de dicha medición.
- Tomaremos varios regímenes de trabajo de velocidad constante y levantaremos la nube de puntos que determinaran la recta de trabajo teórica.

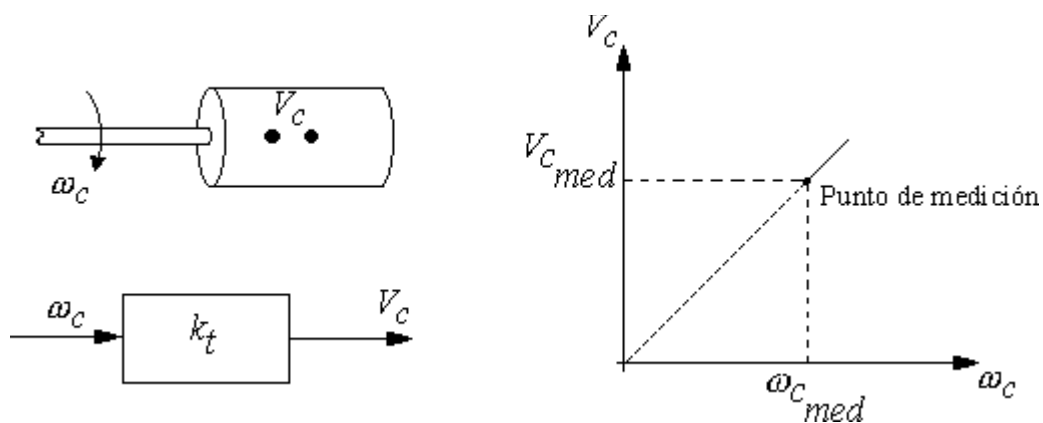


Figura 16: Generatriz taquimétrica

Sobre la base de la **figura 16**, se calcula la constante del tacómetro, mediante:

$$K_{Tac} = \frac{V_{c\ med}}{\omega_{c\ med}}$$

Punto Conceptual 16:

Si la generatriz taquimétrica es en realidad un generador de corriente continua como el que estamos ensayando:

¿Qué deberíamos tener en cuenta para un correcto análisis de las mediciones realizadas?

¿Qué pasa con el régimen transitorio en el tacómetro?

¿Qué error estamos infiriendo? ¿Hay alguna falencia en nuestro análisis?

12. Atenuador variable

Consiste en un potenciómetro, que permite variar la tensión de salida respecto a la tensión de entrada, entre el valor mínimo que es cero y el valor máximo que es la tensión de entrada. En otras palabras el atenuador introduce una constante " k_{At} " que puede variar entre cero (0%) y uno (100%).

$$0 \leq k_{At} \leq 1 \quad \approx \quad 0\% \leq k_{At} \leq 100\%$$

Nota: En el equipo el atenuador variable tiene divisiones entre 0 y 10, de tal manera que si se lee 4.7 divisiones, el valor de " k_{At} " corresponde a 0.47 (47%).

Punto Conceptual 17:

Si la disposición real de los componentes es en realidad la que vemos en la **figura 17**:

¿Estamos realizando un correcto análisis de las ganancias de la cadena directa?

¿Y de la cadena de realimentación?

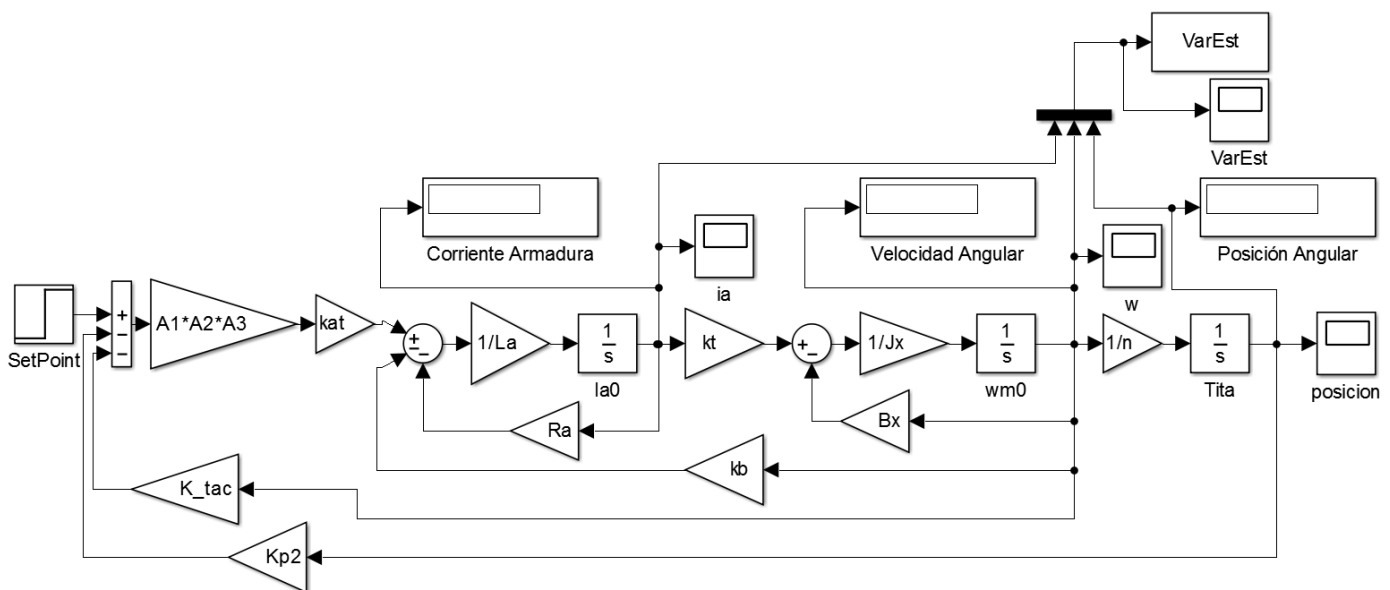


Figura 17: Disposición de componentes real

PUNTOS DE ANÁLISIS PEDIDOS

Mediante el uso de Simulink y MatLab los alumnos deberán realizar las simulaciones y cálculos correspondientes a los modelos de la planta bajo ensayo:

- *Deberán realizar modelos completos de todas las funciones de transferencia presentes (una para cada bloque), simular a los diagramas de las **figuras 1, 2 y 3**.*
- *Deberán correlacionar las constantes de tiempo calculadas con los polos en el plano complejo "S", a los efectos de ver la correspondencia de polos lentos y rápidos.*
- *Deberán realizar las simulaciones correspondientes y comparar el Modelo simplificado de polos y el Modelo Completo*
- *Deberán calcular la función transferencia a lazo cerrado para el control de velocidad angular. Explicitar los ceros y polos de cada función transferencia y como afectan a la respuesta temporal.*
- *Deberán calcular la función transferencia a lazo cerrado para el control de posición angular. Explicitar los ceros y polos de cada función transferencia y como afectan a la respuesta temporal.*
- *Deberán calcular la función transferencia a lazo cerrado para el control de posición angular y realimentación de velocidad angular. Explicitar los ceros y polos de cada función transferencia y como afectan a la respuesta temporal.*
- *Deberán realizar las simulaciones correspondientes al modelo No Lineal que incorporar la caja reductora con sus rozamientos No Lineales al modelo antes descripto completando las alinealidades referenciadas durante el trabajo de laboratorio. Además contrastar respecto al modelo lineal.*
- *Deberán realizar el modelo de estados completo del sistema bajo estudio, tanto en su representación matricial como en su diagrama en bloques. A su vez deben realizar las simulaciones correspondientes para verificar el modelo.*

13. Cuadro Resumen de Mediciones Realizadas

A continuación se deja una tabla resumen de las mediciones realizadas, con sus unidades, simbología, los cálculos respectivos, etc.

<u>MAGNITUD</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>MIDO</u>	<u>CÁLCULO</u>	<u>UNIDADES</u>
Resistencia de armadura	R_a	$E_a ; I_a$	$R_a = \frac{E_a}{I_a}$	$[\Omega]$ - Ohmios
Constante de tiempo eléctrica	τ_a	$t_f ; t_0$	$\tau_a = t_f - t_0$	[s]- Segundos
Inductancia de Armadura	L_a	τ_a	$L_a = \tau_a \times R_a$	[H] - Henrios
Inductancia de Armadura (Alternativa)	L_a	$E_{a0} ; i_{a1(\infty)}$	$L_a = \frac{E_{a0}}{i_{a1(\infty)}} \times \tau_a$	[H] - Henrios
Constante de tensión	K_b	$E_{a0} ; \omega_{(\infty)} ; i_{a1(\infty)}$	$k_b = \frac{E_{a0} - i_{a1(\infty)} \times R_a}{\omega_{(\infty)}}$	$[V.s/r] - \frac{\text{Voltios} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$
Constante de Cupla	K_t	K_b	$ k_t = k_b $	$[N.m/A] - \frac{\text{Newton} * \text{Metro}}{\text{Amperios}}$
Rozamiento Viscoso	B_*	$\omega_{(\infty)} ; i_{a1(\infty)}$	$B_* = \frac{I_{a1(\infty)} \times K_t}{\omega_{(\infty)}}$	$[N.m.s/r] - \frac{\text{Newton} * \text{Metro} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$
Constante de tiempo mecánica	τ_m	$t_f ; t_0$	$\tau_a = t_f - t_0$	[s]- Segundos
Momento de inercia	J_*	$B_* ; \tau_m$	$J_* = \tau_m \times B_*$	$[N.m.s^2] - \text{Newton} * \text{Metro} * \text{Seg}^2$
Potenciómetro de referencia	K_{p1}	$V_{r2} ; V_{r1} ; \theta_{r2} ; \theta_{r1}$	$K_{p1} = \frac{V_{r2} - V_{r1}}{\theta_{r2} - \theta_{r1}}$	$[V/r] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Radian}}$
Potenciómetro de salida	K_{p2}	$V_{c2} ; V_{c1} ; \theta_{c2} ; \theta_{c1}$	$K_{p2} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{\theta_{c2} - \theta_{c1}}$	$[V/r] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Radian}}$
Ganancia Amplificadores	A_T	$E_a ; V_r ; V_c$	$A_T = \frac{E_a}{V_r - V_c}$	$[V/V] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Voltios}}$
Tacómetro	k_{Tac}	$V_{cmed} ; \omega_{cmed}$	$K_{Tac} = \frac{V_{cmed}}{\omega_{cmed}}$	$[V.s/r] - \frac{\text{Voltios} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$

El alumno deberá volcar todos los datos en un cuadro de valores como el indicado a continuación:

REGISTRO DE MEDICIONES				
<u>MAGNITUD</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>CÁLCULO</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
Resistencia de armadura	$\overline{R_a}$	$R_a = \frac{E_a}{I_a}$		$[\Omega]$ - Ohmios
Constante de tiempo eléctrica	$\overline{\tau_a}$	$\tau_a = t_f - t_0$		[s]- Segundos
Inductancia de Armadura	$\overline{L_a}$	$L_a = \tau_a \times R_a$		[H] - Henrios
Inductancia de Armadura (Alternativa)	$\overline{L_a}$	$L_a = \frac{E_{a0}}{i_{a1(\infty)}} \times \tau_a$		[H] - Henrios
Constante de tensión	$\overline{K_b}$	$k_b = \frac{E_{a0} - i_{a1(\infty)} \times R_a}{\omega_{(\infty)}}$		$[V.s/r] - \frac{\text{Voltios} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$
Constante de Cupla	$\overline{K_t}$	$ k_t = k_b $		$[N.m/A] - \frac{\text{Newton} * \text{Metro}}{\text{Amperios}}$
Rozamiento Viscoso	$\overline{B_*}$	$B_* = \frac{I_{a1(\infty)} \times K_t}{\omega_{(\infty)}}$		$[N.m.s/r] - \frac{\text{Newton} * \text{Metro} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$
Constante de tiempo mecánica	$\overline{\tau_m}$	$\tau_a = t_f - t_0$		[s]- Segundos
Momento de inercia	$\overline{J_*}$	$J_* = \tau_m \times B_*$		$[N.m.s^2] - \text{Newton} * \text{Metro} * \text{Seg}^2$
Potenciómetro de referencia	$\overline{K_{p1}}$	$K_{p1} = \frac{V_{r2} - V_{r1}}{\theta_{r2} - \theta_{r1}}$		$[V/r] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Radian}}$
Potenciómetro de salida	$\overline{K_{p2}}$	$K_{p2} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{\theta_{c2} - \theta_{c1}}$		$[V/r] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Radian}}$
Ganancia Amplificadores	$\overline{A_T}$	$A_T = \frac{E_a}{V_r - V_c}$		$[V/v] - \frac{\text{Voltios}}{\text{Voltios}}$
Tacómetro	$\overline{K_{Tac}}$	$K_{Tac} = \frac{V_{cmed}}{\omega_{cmed}}$		$[V.s/r] - \frac{\text{Voltios} * \text{Seg}}{\text{Radian}}$