

# Proyecto N°3: Control para el sistema de pesaje de cajas

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza

Técnicas Digitales 1 - 3R5 - 2021

## **Grupo 2**

Integrantes: Cadena, Leonardo

Martínez, Lucas

Olguín, Martín

# Especificación del problema

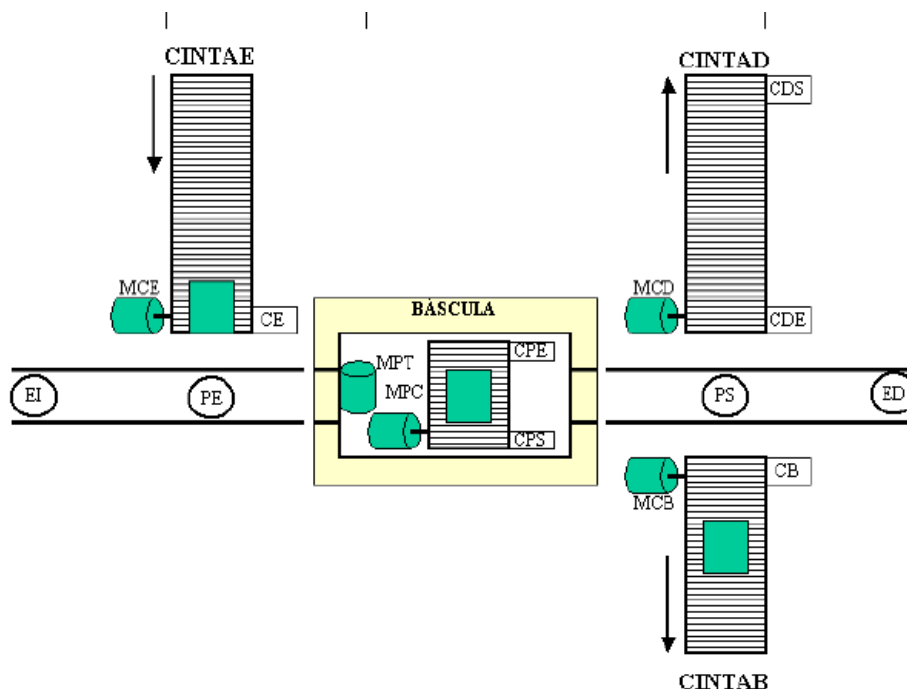
El sistema de pesaje de la figura consta de 3 cintas transportadoras, una báscula y una plataforma móvil que se desplaza sobre rieles.

El funcionamiento del sistema en automático es el siguiente:

1. Los paquetes llegan por la cinta E con una pequeña separación entre ellos.
2. Son trasladados uno a uno por el transportador a la zona de báscula donde son pesados. Para que el peso sea correcto el transportador debe estar en la posición correcta dentro de la zona de báscula durante 30 segundos. La báscula tiene una salida digital BÁSCULA que cuando se activa indica que el peso del paquete es el correcto.
  - Si el peso del paquete es correcto sale por la cinta B.
  - Si es incorrecto sale por la cinta D.
  - Si un paquete alcanza la cabecera de la cinta E (sensor CE) y no está el transportador en posición espera a su llegada (se para la cinta E).
3. La cinta B está en continuo movimiento. El sensor CB permite saber que un paquete ha sido completamente trasladado del transportador a la cinta.
4. La cinta D sólo se pone en movimiento cuando es necesario para transportar un paquete defectuoso.
5. Los sensores CDE y DCS controlan la entrada y salida de paquetes en la cinta. Una vez que el paquete defectuoso ha salido de la cinta, ésta se para si no hay más paquetes defectuosos.
6. Una vez que el paquete sale por B o D, el transportador siempre vuelve a la posición de la cinta E.
7. Cuando se pone en automático el sistema el transportador va también a la posición de la cinta E si ya no está en ella.
8. Los sensores PE, PB (está en la báscula y no se ve en la figura) y PS permiten controlar la posición del transportador: frente a cinta E, en la báscula o frente a cintas S y B. Los sensores ED y EI son dos finales de carrera de seguridad que se abren cuando la plataforma alcanza los extremos de los raíles. Los motores MCE, MCB y MCD mueven las cintas. Los motores MPT y MPC mueven el transportador y la cinta del transportador. Esta cinta tiene además los sensores CPE y CPS para controlar la entrada salida de paquetes.

El sistema tiene dos modos de funcionamiento controlados por un conmutador en el pupitre de control:

- *Modo automático:* descrito anteriormente. Hay dos pulsadores PA y PP para arrancar y parar en modo automático. Cuando se da la orden de parar, el sistema se detiene una vez que el transportador ha llegado a la posición de la cinta E después de haber realizado un ciclo completo.
- *Modo manual supervisado:* mediante pulsadores se pueden mover las cintas y el transportador sin que éste se salga de sus posiciones máxima y mínima, ni se caigan los paquetes de la cinta E.
- *Parada de emergencia:* Se activa mediante una seta de emergencia en el pupitre de control, o mediante los finales de carrera de emergencia situados en los extremos de los raíles. Existe un pulsador de rearme (además del rearme de la seta de emergencia) mediante el cual el operador indica que ya no hay situación de emergencia.



## Propuesta de desarrollo

El sistema será dividido en subsistemas para analizar la implementación propuesta del proyecto y describir su funcionamiento. La resolución será en lenguaje VHDL y posteriormente se hará la correspondiente simulación (y si es posible su implementación física) en un kit FPGA XILINX facilitado por el laboratorio y previamente utilizado en la práctica de laboratorio N° 7. Además, se dividieron los controladores MPT y MPC en dos para poder controlar la dirección de forma independiente, es decir, transportador a izquierda y derecha, y cinta del transportador hacia arriba o hacia abajo respectivamente.

## Vectores del sistema

- **Entrada:** E (CE, EI, ED, PE, PB, PS, CPE, CPS, CDE, CDS, CB, EM, REM, PA, PP PPE, PPB, PPS, B)
- **Salida:** S (MCE, MPTI, MPTD, MPCU, MPCD, MCD, MCB, LEM)

## Descripción de cada variable

### Entrada

Sensores del sistema:

- CE: Sensor cinta de entrada E
- EI: Fin de carrera rail por izquierda
- ED: Fin de carrera rail por derecha
- PE: Sensor de posición de transportador en cinta E
- PB: Sensor de posición de transportador en báscula
- PS: Sensor de posición de transportador en cintas de salida
- CPE: Sensor de entrada /salida por cinta E a la báscula
- CPS: Sensor de salida por cinta B de la báscula
- CDE: Sensor de entrada a cinta D
- CDS: Sensor de salida a cinta S
- CB: Sensor de entrada a cinta B
- B: Salida de la báscula si el peso es correcto (B = 1) o incorrecto (B = 0)

Pulsadores manuales:

- EM: Pulsador de emergencia
- REM: Rearme post emergencia
- PA: Pulsador de activación de modo automático
- PP: Pulsador de paro automático
- PM: Pulsador de activación de modo manual
- PIZQ: Pulsador movimiento a izquierda de transportador
- PDER: Pulsador movimiento a derecha de transportador
- PEM: Pulsador paro / arranque manual cinta E
- PDM: Pulsador paro / arranque manual cinta D
- PTU: Pulsador paro / arranque de cinta en transportador hacia arriba
- PTD: Pulsador paro / arranque de cinta en transportador hacia abajo

### Salida

- MCE: Motor de cinta E
- MPTI: Motor de posición del transportador hacia izquierda
- MPTD: Motor de posición del transportador hacia derecha
- MPCU: Motor de manejo de báscula hacia arriba (cinta D)
- MPCD: Motor de manejo de báscula hacia abajo (cinta B)
- MCD: Motor de cinta D
- MCE: Motor de cinta E
- SEM: Salida indicadora de emergencia (además alimentará un led para informar)

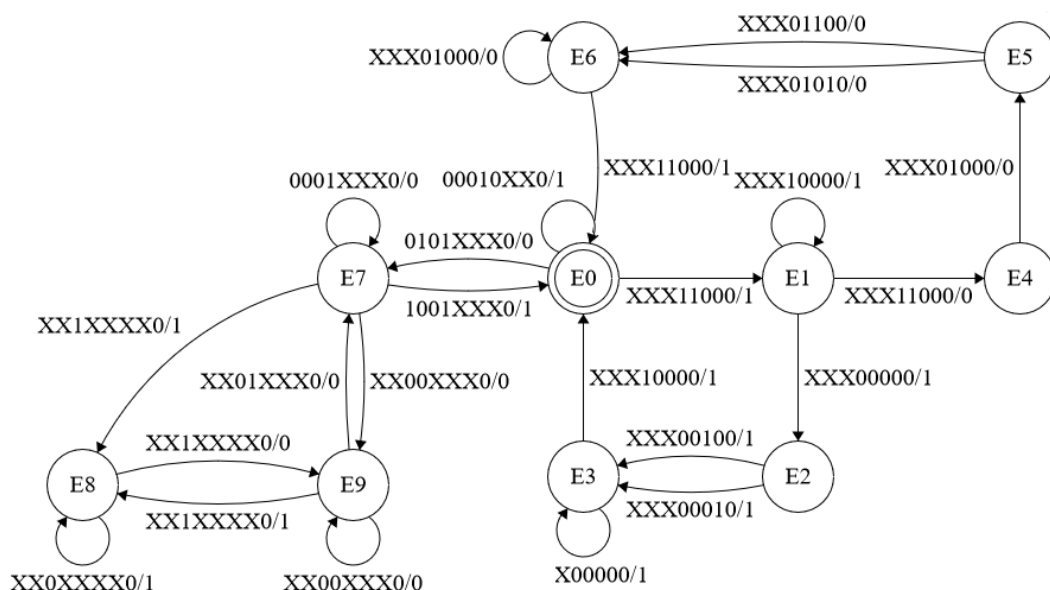
## Definición de diagramas

Diseñaremos el sistema dividiéndolo en distintos subsistemas; una vez descriptos los diagramas se codificarán en VHDL para lograr la integración entre estos. Comenzamos describiendo cada salida con las entradas que la afectan y realizamos el diagrama correspondiente a cada una. Nuestro **estado inicial** para todos los modelos será el transportador vacío y en la posición bajo el carril E.

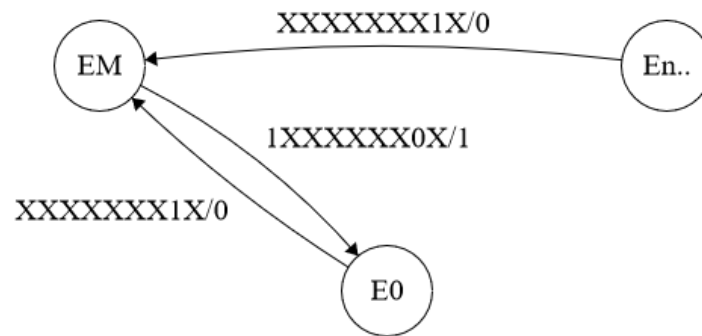
Otro dato para aclarar es que tanto MPTI como MPTD como las cintas D y E funcionan de modo automático y manual, además del funcionamiento en caso de emergencia. Los diagramas se dibujarán por separado para mantener la claridad del trabajo, pero a nivel funcional equivaldría todo a un mismo diagrama. En ambos casos, E1, por ejemplo, es el mismo para los tres diagramas.

### MCE: Motor de cinta E

- MCE (PA, PM, PEM, PE, CE, CDE, CB, SEM)



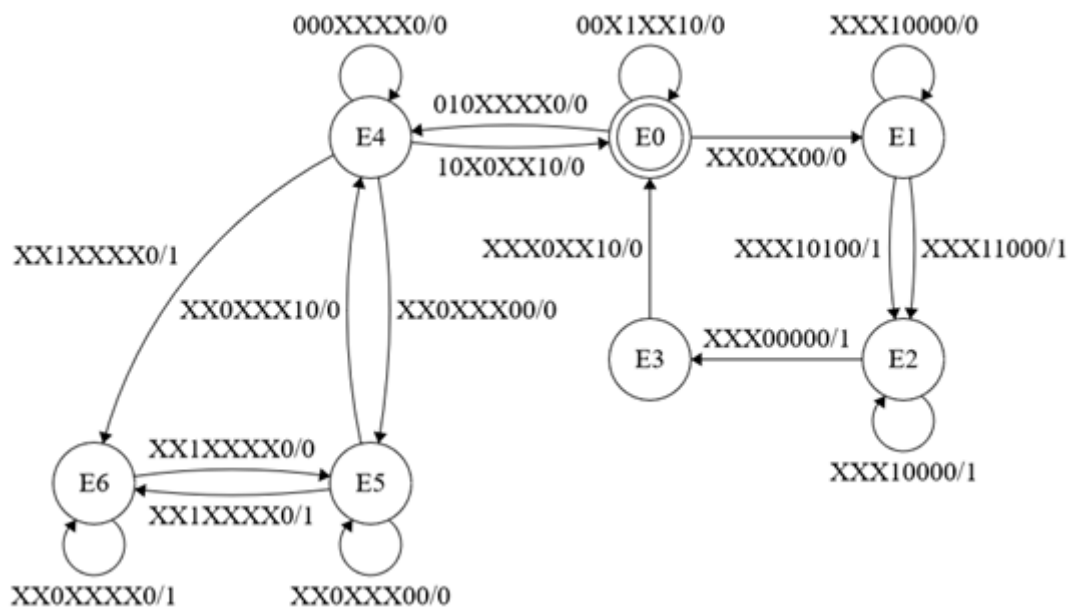
- E0 – E1 – E2 – E3 – E0: Ciclo automático sin que ingresen paquetes
- E0 – E1 – E4 – E5 – E6 – E0: Ciclo automático donde ingresa un paquete
- E0 – E7– E8 – E9: Estados de funcionamiento manual



Ciclo de emergencia. En representa todos los estados. Solo vuelve a E0 una vez que no haya emergencia y el transportador este en PE.

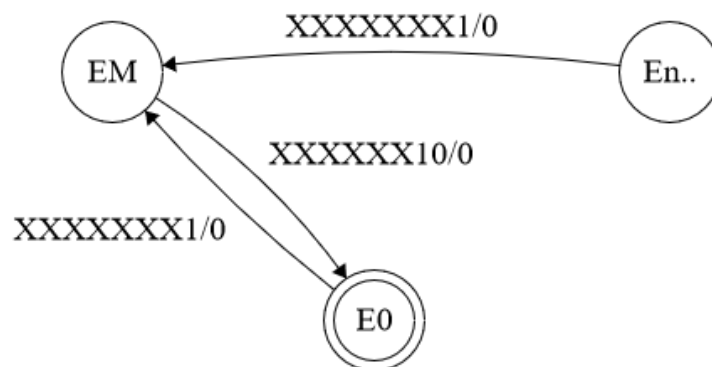
### MPTI: Motor de posición del transportador hacia izquierda

- MPTI (PA, PM, PIZQ, PE, CDE, CB, PS, SEM)



E0 – E1 – E2 – E3: Ciclo automático

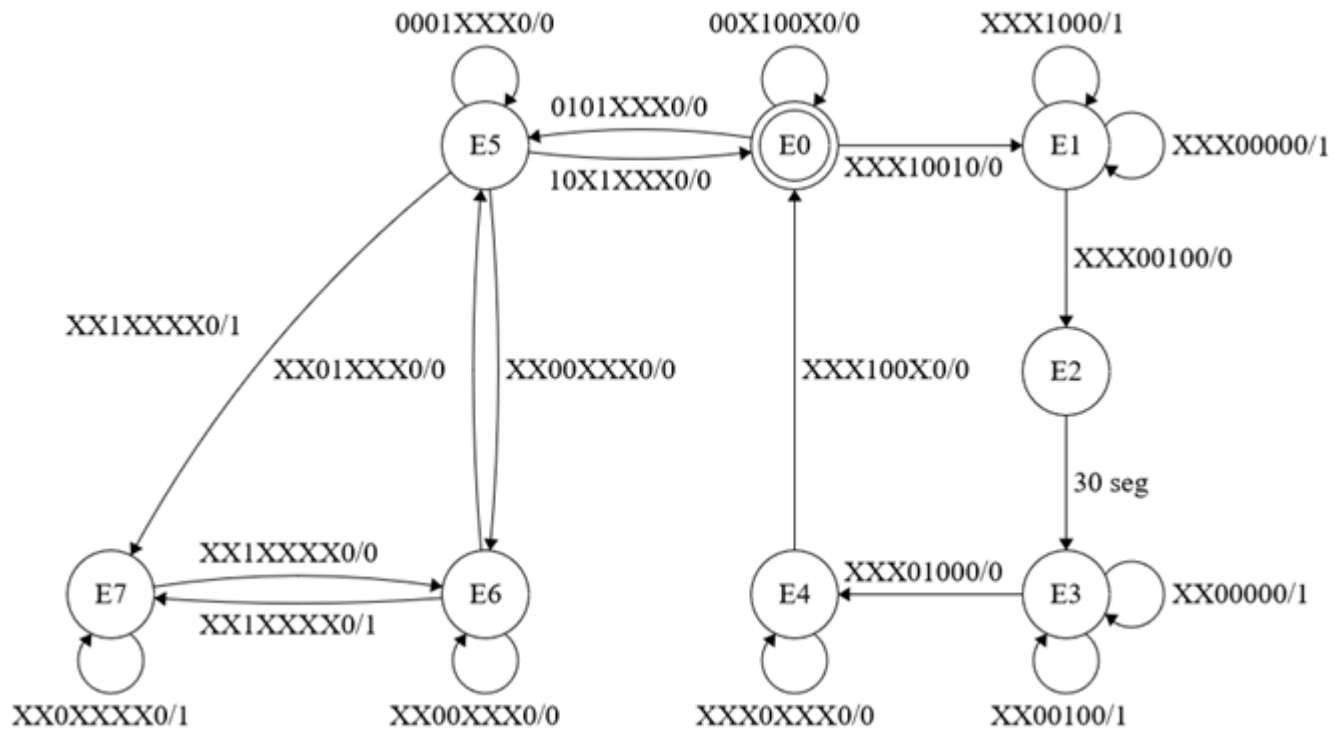
E0 – E4 – E5 – E6: Ciclo manual



Igual que antes, en cualquier estado ante la acción de la entrada de emergencia SEM, solo se volverá al estado inicial con SEM en 0 y el transportador en PE.

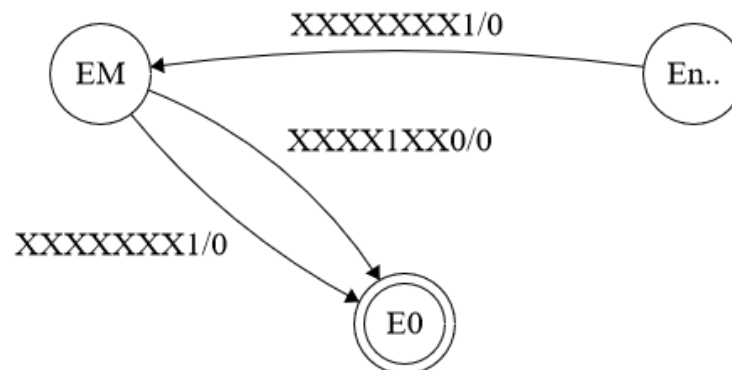
### MPTD: Motor de posición del transportador hacia derecha

- MPTD (PA, PM, PDER, PE, PS, PB, CPE, SEM)



E0 – E1 – E2 – E3 – E4 – E0: Ciclo de funcionamiento automático

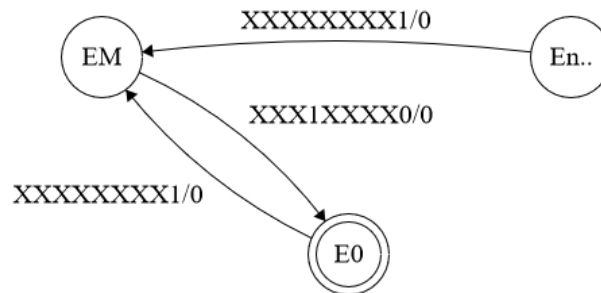
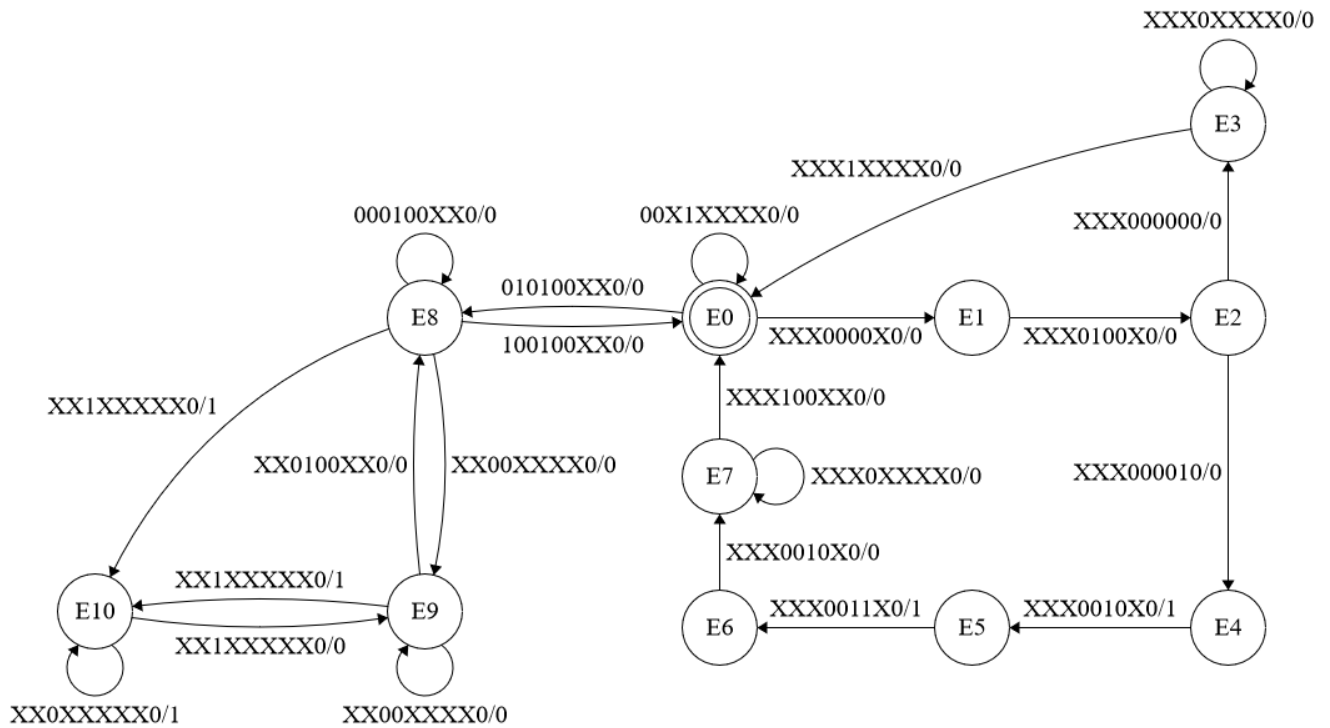
E0 – E5 – E6 – E7: Funcionamiento manual



Nuevamente el estado de emergencia se reinicia solo con SEM en 0 y el transportador en la posición PE

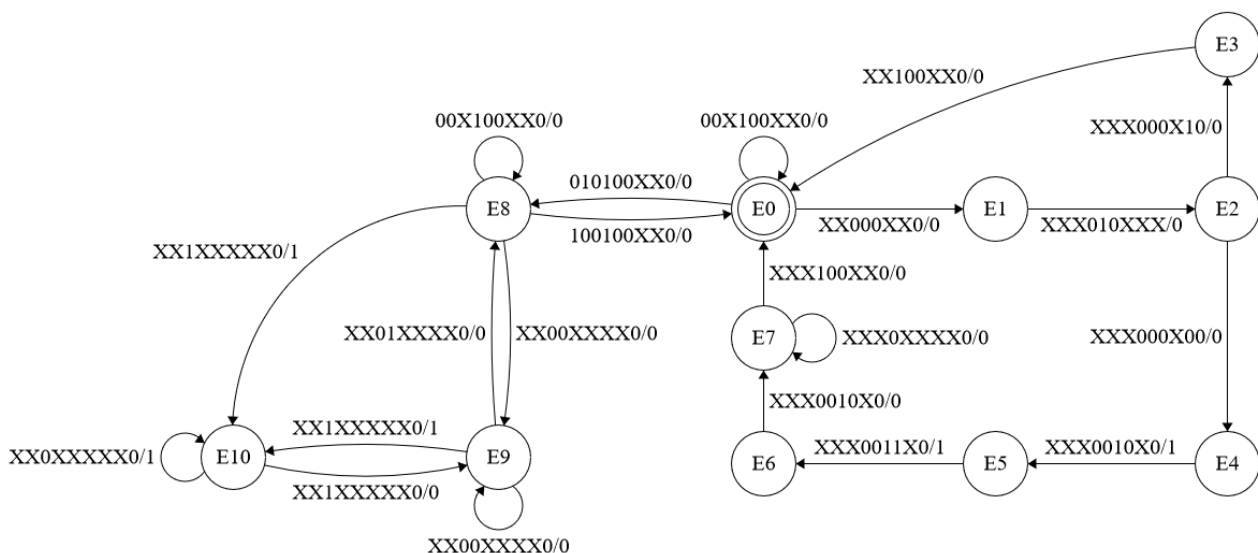
### MPCU: Motor de manejo de báscula hacia arriba (cinta D)

- MPCU (PA, PM, PTU, PE, PB, PS, CPE, B, SEM)



## MPCD: Motor de manejo de báscula hacia abajo (cinta B)

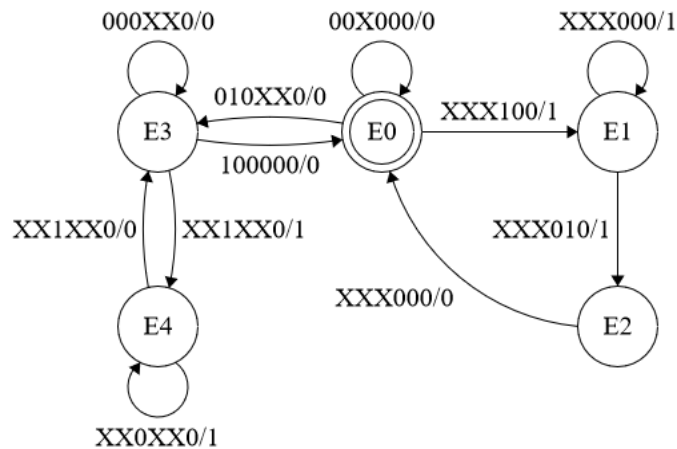
- MPCD (PA, PM, PTD, PE, PB, PS, CPS, B, SEM)



E0 – E1 – E2 – E3: Ciclo automático, no se acciona (va a cinta B)  
 E0 – E1 – E2 – E4 – E5 – E6 – E7: Ciclo automático, sale paquete por cinta D  
 E0 – E8 – E9 – E10: Ciclo manual

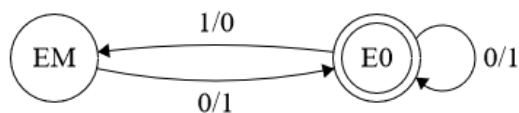
## MCD: Motor de cinta D

- MCD (PA, PM, PDM, CDE, CDS, SEM)



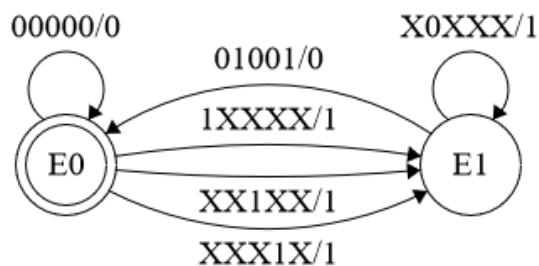
## MCB: Motor de cinta B

- MCB (SEM)



## SEM: Salida indicadora de emergencia

- SEM (EM, REM, EI, ED, PE)



## Codificación en VHDL y descripción del código

Los diagramas anteriores los utilizamos como base para nuestro código. A diferencia de los diagramas que eran asíncronos, optamos por un diseño síncrono por facilitar la implementación; esto provoca otra gran diferencia que es la adición de una entrada clock para el sistema. Luego de esto, cambiamos el nombre de algunas variables por ser palabras reservadas del sistema, lo cual detallaremos en breve.

A continuación, se dará una breve descripción del código en VHDL, el cual será adjuntado con el presente informe en formato vhd para su implementación o como respaldo en caso de que se originen problemas con este documento.



## Declaraciones e inicio del código

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
entity Proyecto is
    Port (
        clk: in STD_LOGIC;
        CE : in  STD_LOGIC;
        EI : in  STD_LOGIC;
        ED : in  STD_LOGIC;
        PE : in  STD_LOGIC;
        PB : in  STD_LOGIC;
        PPS : in  STD_LOGIC;
        CPE : in  STD_LOGIC;
        CPS : in  STD_LOGIC;
        CDE : in  STD_LOGIC;
        B : in  STD_LOGIC;
        CB: in STD_LOGIC;
        CDS: in STD_LOGIC;

        EM : in  STD_LOGIC;
        RE : in  STD_LOGIC;
        PA : in  STD_LOGIC;
        PP : in  STD_LOGIC;
        PM : in  STD_LOGIC;
        PIZQ : in  STD_LOGIC;
        PDER : in  STD_LOGIC;
        PEM : in  STD_LOGIC;
        PDM : in  STD_LOGIC;
        PTU : in  STD_LOGIC;
        PTD : in  STD_LOGIC;

        SMCE : out  STD_LOGIC;
        SMPTI : out  STD_LOGIC;
        SMPTD : out  STD_LOGIC;
        SMPCU : out  STD_LOGIC;
        SMPCD : out  STD_LOGIC;
        SMCD : out  STD_LOGIC;
        SMB : out  STD_LOGIC;
        LEM : out  STD_LOGIC);
end Proyecto;
```

En este tramo declaramos la entidad del proyecto, es decir, sus entradas y salidas. Vemos que algunos nombres de puertos han cambiado respecto a la descripción debido a que eran palabras reservadas, como PS que ahora es PPS. Nuestro proyecto es sincrónico, lo que hace que a las entradas descriptas también haya que añadir una entrada de reloj clk.

```
architecture Behavioral of Proyecto is

    signal MANUAL: STD_LOGIC:= '0';
    signal PCORRECTO: STD_LOGIC;
    signal SEM: STD_LOGIC:= '0';
    signal MCE : STD_LOGIC:= '1';
```

```

signal MPTI : STD_LOGIC:= '0';
signal MPTD : STD_LOGIC:= '0';
signal MPCU : STD_LOGIC:= '0';
signal MPCD : STD_LOGIC:= '0';
signal MCD : STD_LOGIC:= '0';
signal MB : STD_LOGIC:= '1';
signal CARGA: STD_LOGIC:= '0';
signal PARO: STD_LOGIC:= '0';

signal PMant: STD_LOGIC:= '0';
signal PAant: STD_LOGIC:= '0';
signal CEant: STD_LOGIC:= '0';
signal PEant: STD_LOGIC:= '0';
signal CDEant: STD_LOGIC:= '0';
signal CDSant: STD_LOGIC:= '0';
signal CPEant: STD_LOGIC:= '0';
signal CBant: STD_LOGIC:= '0';
signal PEMant: STD_LOGIC:= '0';
signal PBant: STD_LOGIC:= '0';
signal PDMant: STD_LOGIC:= '0';
signal PPSant: STD_LOGIC:= '0';
signal PPant: STD_LOGIC:= '0';

```

```
begin
```

Luego de declarar la entidad, describimos ya en la descripción de la arquitectura del proyecto algunas señales con distintos fines. Algunas son de uso interno, otras son señales que al final del proceso asignaremos a cada salida para poder manipularlas cómodamente (además de ser necesario por tratarse de un sistema síncrono), y en la última sección también declaramos señales que almacenarán el valor de los pulsadores y sensores en el anterior ciclo de reloj para poder compararlas con su valor actual y activar acciones en flancos de subida o bajada según corresponda.

## Descripción de la arquitectura

```

process (clk)
begin
    if (clk'event and clk = '1') then

        -- Establecimiento de estado de emergencia
        if (RE = '1' and PE = '1') then
            SEM <= '0';
            MCE <= '1';
            MPTI <= '0';
            MPTD <= '0';
            MPCU <= '0';
            MPCD <= '0';
            MCD <= '0';
            MB <= '1';
            MANUAL <= '0';
        else
            if (EM = '1' or EI = '1' or ED = '1') then

```

```

        SEM <= '1';
    end if;
end if;

```

El estado de emergencia se establecerá con un biestable SR. La salida SEM indica el estado de emergencia si es 1 o el estado de no emergencia si es 0. Este biestable se 'setea' en el caso de que se active la entrada EM (por pulsador) o por acción de los sensores de fin de carrera EI o ED. Para desactivar el estado de emergencia se 'resetea' bajo la condición de que simultáneamente el transportador debe estar en la posición E y estar accionado el pulsador de rearme RE.

```

-- Establecimiento de estado manual
if (PE = '1' and PA = '1' and PAant = '0') then
    MANUAL <= '0';

    -- Valores por defecto e inicial (automatico)
    MCE <= '1';
    MPTI <= '0';
    MPTD <= '0';
    MPCU <= '0';
    MPCD <= '0';
    MCD <= '0';
    MB <= '1';

else

    if (PE = '1' and PM = '1' and PMant = '0') then
        MANUAL <= '1';
        -- Valores por defecto e inicial (manual)
        MCE <= '0';
        MPTI <= '0';
        MPTD <= '0';
        MPCU <= '0';
        MPCD <= '0';
        MCD <= '0';
        MB <= '1';
    end if;
end if;

```

De la misma manera, el estado manual o automático corresponde a un biestable SR que se 'setea' cuando el sistema está en modo manual y se 'resetea' en modo automático. Para que se active o desactive es necesario que el transportador esté en la posición E (en ambos casos) y que se accione el pulsador de modo manual PM o automático PA respectivamente. Este biestable a diferencia de los experimentados en el laboratorio es sincrónico por flanco de subida.

Una vez activado o desactivado el modo manual, las salidas toman sus valores por defecto.

```

-- Estado de paro
if (PP = '1' and PPant = '0') then PARO <= not PARO;
end if;

```

El funcionamiento del estado de paro corresponde a un biestable T que, en caso de accionarse, para los motores. Esto se describe más adelante, pero en esta sección nos encargamos de almacenar la salida del biestable en la señal PARO.

```
if(SEM = '0') then
    if(MANUAL = '0') then
        -- Funcionamiento automatico
```

El modo automático requiere que la señal de emergencia esté desactivada y el biestable MANUAL con su salida 'reseteada'.

```
-- MCE - Cinta
if (CE = '1' and CEant = '0') then
    if(CARGA = '0' and PE = '1') then
        CARGA <= '1';
    else MCE <= '0';
    end if;
end if;
```

```
if(PE = '1' and PEant = '0') then
    if (CE = '1') then CARGA <= '1';
    end if;
    MCE <= '1';
end if;
```

```
if(PARO = '1') then
    MCE <= '0';
    MB <= '0';
elseif (PARO /= PP) then
    MCE <= '1';
    MB <= '1';
end if;
```

```
if((CDE = '1' and CDEant = '0') or (CB = '1' and CBant = '0')) then CARGA <=
'0';
end if;
```

Ya entrando en el sistema y su funcionamiento en automático, hacemos uso de una señal CARGA que se activará cuando entre un paquete y se desactivará cuando este salga. Esto nos permite controlar el funcionamiento de la cinta E según sea necesario para que un solo paquete este en el transportador. Si un paquete ya estaba esperando al volver a su posición E, CARGA nuevamente se activará. En caso de que previamente se haya activado la señal PARO, las cintas E y B se frenaran, y al desactivar PARO, se reanudará la marcha.

```
-- MPTI - Transportador a izquierda
if((CDE = '0' and CDEant = '1') or (CB = '0' and CBant = '1')) then MPTI <= '1';
end if;

if(PE = '1') then MPTI <= '0';
end if;
```

El transportador se moverá a la izquierda en una sola ocasión: al estar en la posición S y que el paquete salga por cualquiera de las cintas. Con el flanco de bajada de uno de estos dos sensores, el transportador se moverá a la izquierda y al llegar a E se frenará.

```
-- MPTD - Transportador a derecha
if(CPE = '0' and CPEant = '1' and PE = '1') then
    MPTD <= '1' after 1 sec;
end if;

if(PB = '1' and PBant = '0') then
    MPTD <= '0';
    MPTD <= '1' after 30 sec;
end if;

if(PB = '0' and PBant = '1') then
    if (B = '1') then PCORRECTO <= '1';
    else PCORRECTO <= '0';
    end if;
end if;

if(PPS = '1' and PPSant = '0') then MPTD <= '0';
end if;
```

El arranque del motor hacia la derecha se dará 1 segundo después del flanco de bajada del sensor de entrada al transportador para asegurar que esté firme y evitar resbalamiento. Se frenará nuevamente al llegar a la posición B y reanudará marcha 30 segundos después (en nuestro archivo se cambió a 4 segundos para pruebas internas). Al activarse el flanco de bajada de PB, se almacena en otra señal booleana PCORRECTO 1 o 0 según el peso sea correcto. Este dato lo obtenemos por la señal B de la balanza. Finalmente se desactivará de nuevo al llegar a la posición S.

```
-- MPCU - MPCD- Cinta en transportador hacia arriba (peso incorrecto) o abajo
(peso correcto)
if(PPS = '1' and PPSant = '0') then
    if(PCORRECTO = '0') then MPCU <= '1' after 300 ms;
    else MPCD <= '1' after 300 ms;
    end if;
end if;

if(CPE = '0' and CPEant = '1') then MPCU <= '0';
end if;

if(CB = '0' and CBant = '1') then MPCD <= '0';
end if;
```

El transportador se moverá hacia arriba o hacia abajo según el valor de la señal PCORRECTO por flanco de subida del sensor del transportador a la posición S luego de 300ms para darle tiempo al transportador de acomodarse. Cuando el paquete termine de entrar a su respectiva cinta se apagará la salida correspondiente.

```
-- MCD - Cinta D
```

```

if(CDE = '1' and CDEant = '0') then MCD <= '1';
end if;

if(CDS = '0' and CDSant = '1') then MCD <= '0';
end if;
-- Fin funcionamiento automatico

```

El motor de la cinta D es un simple biestable SR pero que a diferencia del físico, su entrada de reset se hace efectiva en el flanco de bajada, mientras que la señal de set se dará para el flanco de subida.

```

-- Funcionamiento manual
if(PEM = '1' and PEMant = '0') then MCE <= not MCE;
end if;

if(PDER = '1') then MPTD <= '1';
else MPTD <= '0';
end if;

if(PIZQ = '1') then MPTI <= '1';
else MPTI <= '0';
end if;

if(PTU = '1') then MPCU <= '1';
else MPCU <= '0';
end if;

if(PTD = '1') then MPCD <= '1';
else MPCD <= '0';
end if;

if(PDM = '1' and PDMant = '0') then MCD <= not MCD;
else MCD <= MCD;
end if;
-- Fin funcionamiento manual
end if;

```

El funcionamiento manual se da de dos formas, para las cintas corresponde a biestables tipo T que activarán o desactivarán la salida para los flancos de subida de los pulsadores, mientras que para las salidas de dirección de los motores a derecha o izquierda y de su cinta hacia arriba o hacia abajo estarán en funcionamiento mientras el pulsador este accionado, caso contrario las salidas estarán desactivadas.

```

else
  -- Estado de emergencia
  MCE <= '0';
  MPTI <= '0';
  MPTD <= '0';
  MPCU <= '0';
  MPCD <= '0';
  MCD <= '0';
  MB <= '0';

```

```

        end if;
    end if;

```

En la condicional que vimos al inicio, se describió que todo lo anterior se analiza en caso de que la señal de emergencia SEM sea cero. En caso de que no sea así (que sea 1), todos los motores se apagarán incluida la cinta B. Como curiosidad, este y el estado de paro son los únicos en el que la cinta B se apaga por precaución. En modo manual y automático la cinta B esta encendida en todo momento.

```

    -- Asignacion a salidas
    SMCE <= MCE;
    SMPTI <= MPTI;
    SMPTD <= MPTD;
    SMPKU <= MPKU;
    SMPKD <= MPKD;
    SMCD <= MCD;
    SMB <= MB;
    LEM <= SEM;

    PMant <= PM;
    PAant <= PA;
    CEant <= CE;
    PEant <= PE;
    CDEant <= CDE;
    CPEant <= CPE;
    CBant <= CB;
    PEMant <= PEM;
    PDMant <= PDM;
    PBant <= PB;
    PPSant <= PPS;
    CDSant <= CDS;
    PPant <= PP;
end process;
end Behavioral;

```

Lo ultimo que hacemos es asignar a cada salida el valor de su señal temporal y finalmente guardar el valor de cada pulsador para poder compararse en el siguiente pulso de reloj.