

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ARMÓNICO DE LA ZONA CIUDAD DEL CARMEN, ÁREA PENINSULAR

El análisis armónico se debe realizar cada vez que se vaya a instalar un banco de capacitores (para cualquier capacidad y nivel de voltaje), ya que éste entra en resonancia con el sistema de potencia y podrían amplificarse algunas corrientes armónicas existentes, dando como resultado altos voltajes armónicos que podrían dañar el dieléctrico de los propios bancos de capacitores y al aislamiento del resto del equipo. También dichas corrientes y voltajes armónicos podrían causar ruido en las comunicaciones, sobrecalentamiento de cables y transformadores, mala operación de protecciones y tener errores en la medición de energía eléctrica.

El estudio surgió por la necesidad de conocer que sucederá desde el punto de vista armónico, con la incorporación al sistema de 115 KV de los bancos de capacitores de 7.5 MVAR en la subestación CONCORDIA y 15 MVAR en la subestación CIUDAD DEL CARMEN.

Se modeló el sistema de acuerdo a la información de la red eléctrica, simulándose los siguientes casos:

CDC: Sistema con demanda media, generación de armónicas en las subestaciones CONCORDIA y CIUDAD DEL CARMEN y sin Bancos de Capacitores.

CDC20: Sistema con demanda media, con generación de armónicas en las subestaciones CONCORDIA y CIUDAD DEL CARMEN y solo con el Banco de 7.5 MVAR de la subestación CONCORDIA.

CDC21: Sistema con demanda media, con generación de armónicas en las subestaciones CONCORDIA y CIUDAD DEL CARMEN y solo con el Banco de 15 MVAR de la subestación CIUDAD DEL CARMEN.

CDC22: Sistema con demanda media, con generación de armónicas en las subestaciones CONCORDIA y CIUDAD DEL CARMEN, con Bancos de 7.5 y 15 MVAR conectados.

FACTORES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE Y CORRIENTES

CASO	VOLTAJE DE OPERACIÓN (KV _{RMS})		% DE DISTORSIÓN ARMÓNICO TOTAL DE VOLTAJE EN BUSES		% DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE CORRIENTE EN LÍNEA (Alimentador del banco de capacitores).
	CON-115	CRE-115	CON-115	CRE-115	LC1
CDC20	61.0	60.9	6.73	6.44	—
CDC21	62.5	62.5	6.42	6.76	36.2
CDC22	64.0	64.0	4.51	4.61	23.6

NORMAS IEEE - 519 LÍMITES DE DISTORSIÓN DE VOLTAJE.

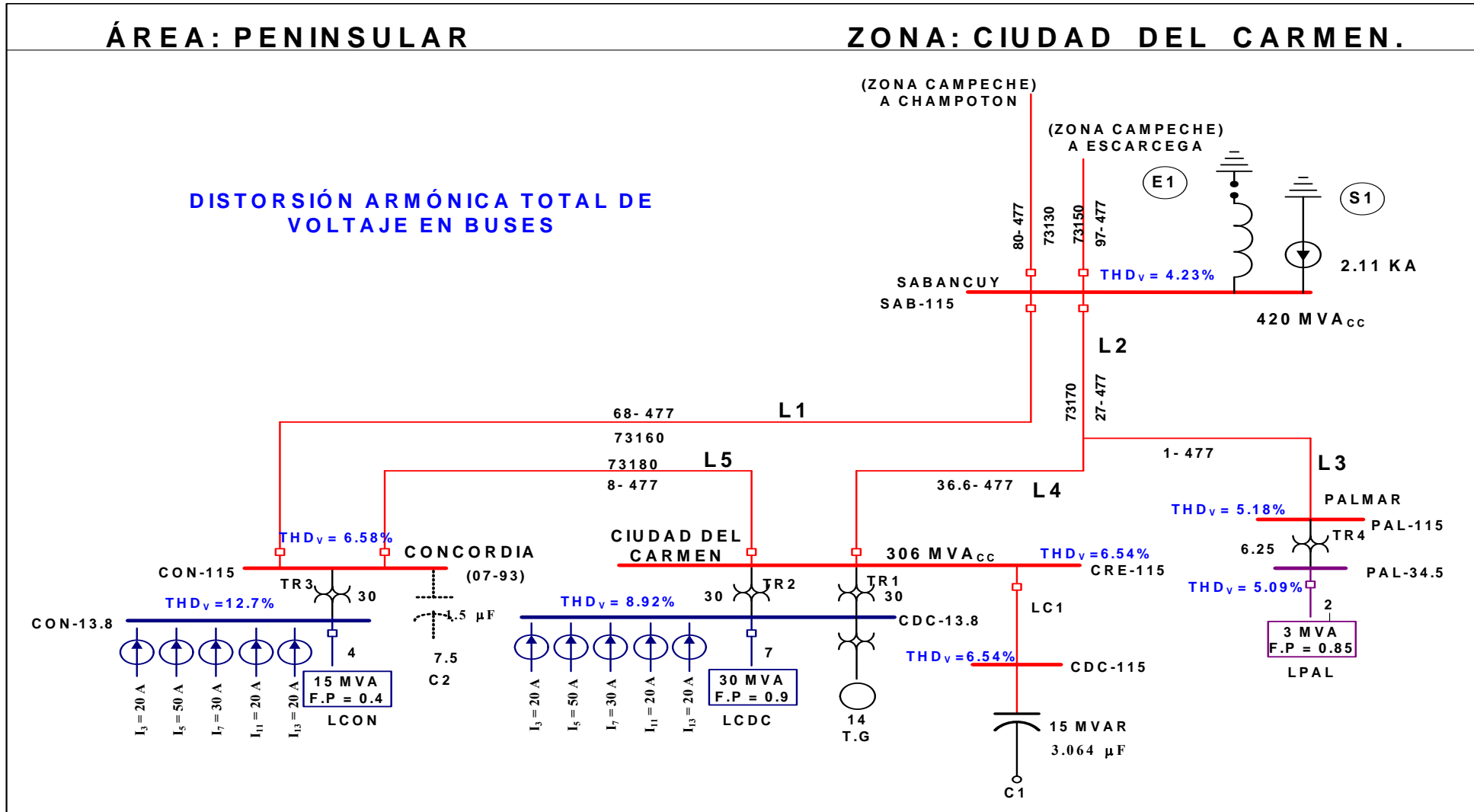
Voltaje del bus en PCC	HDv (%)	THDv (%)
Inferiores a 69 KV	3.0	5.0
69.001 KV hasta 161 KV	1.5	2.5
Superiores a 161 KV	1.0	1.5

HDv = Distorsión de voltaje armónico individual.

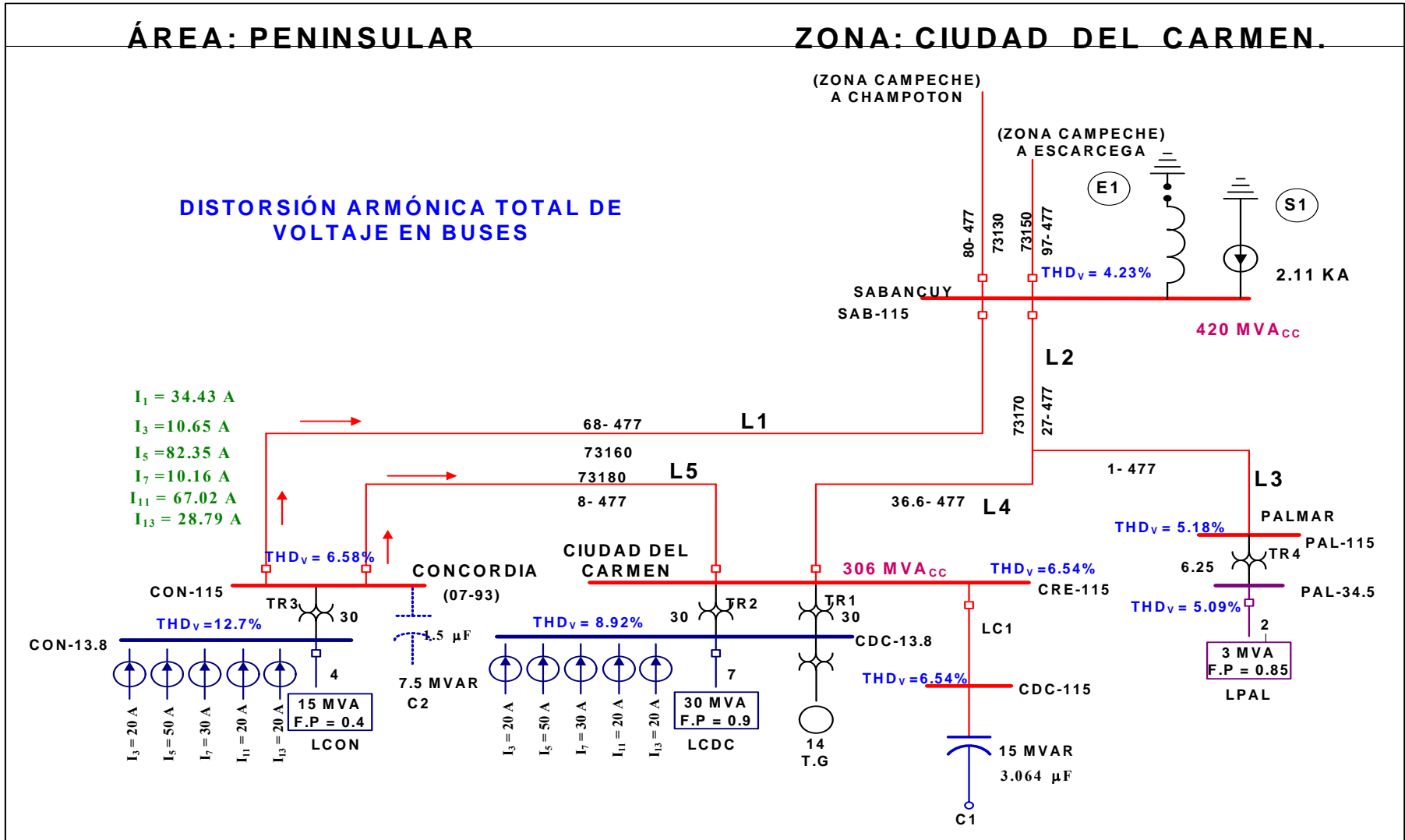
IEEE - 519 LIMITES MÁXIMOS (%) DE DISTORSIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS IMPARES PARA SISTEMAS DE SUBTRANSMISIÓN GENERAL (DESDE 69,001 VOLTS HASTA 161,000 VOLTS)

I_{sc} / I_L	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 \leq n$	THD
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 < 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 < 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.0	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

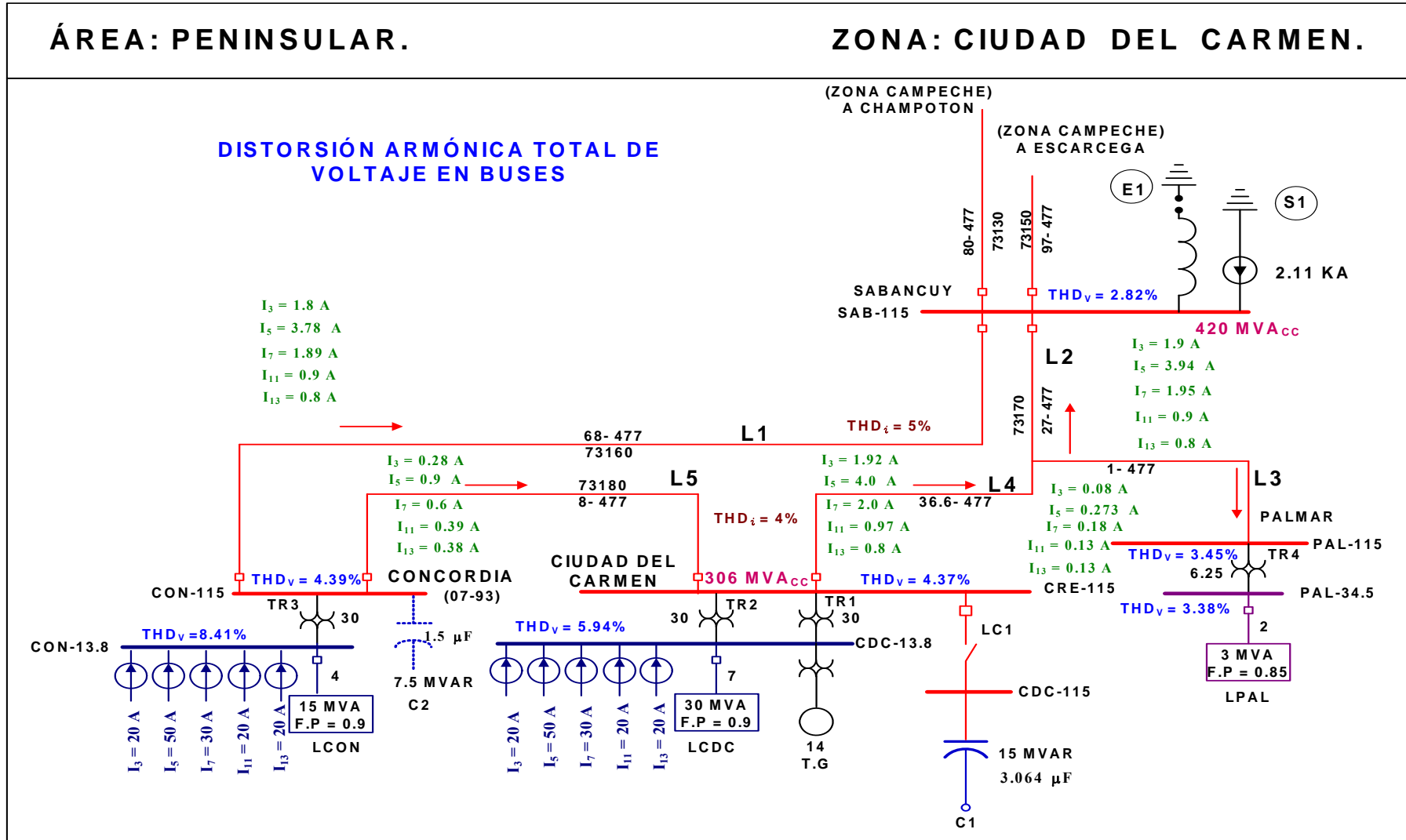
CDC TIF. Sistema con demanda media, con muy alta generación de armónicas en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen y sin banco de capacitores.



CDC 20: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderadas en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen y solo con el Banco de 7.5 MVAR en la Subestación Concordia.



Voltajes y corrientes de operación del banco de capacitores. (considerando las armónicas). CDC: sistema con demanda media, con generación de armónicas en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen y sin bancos de capacitores.

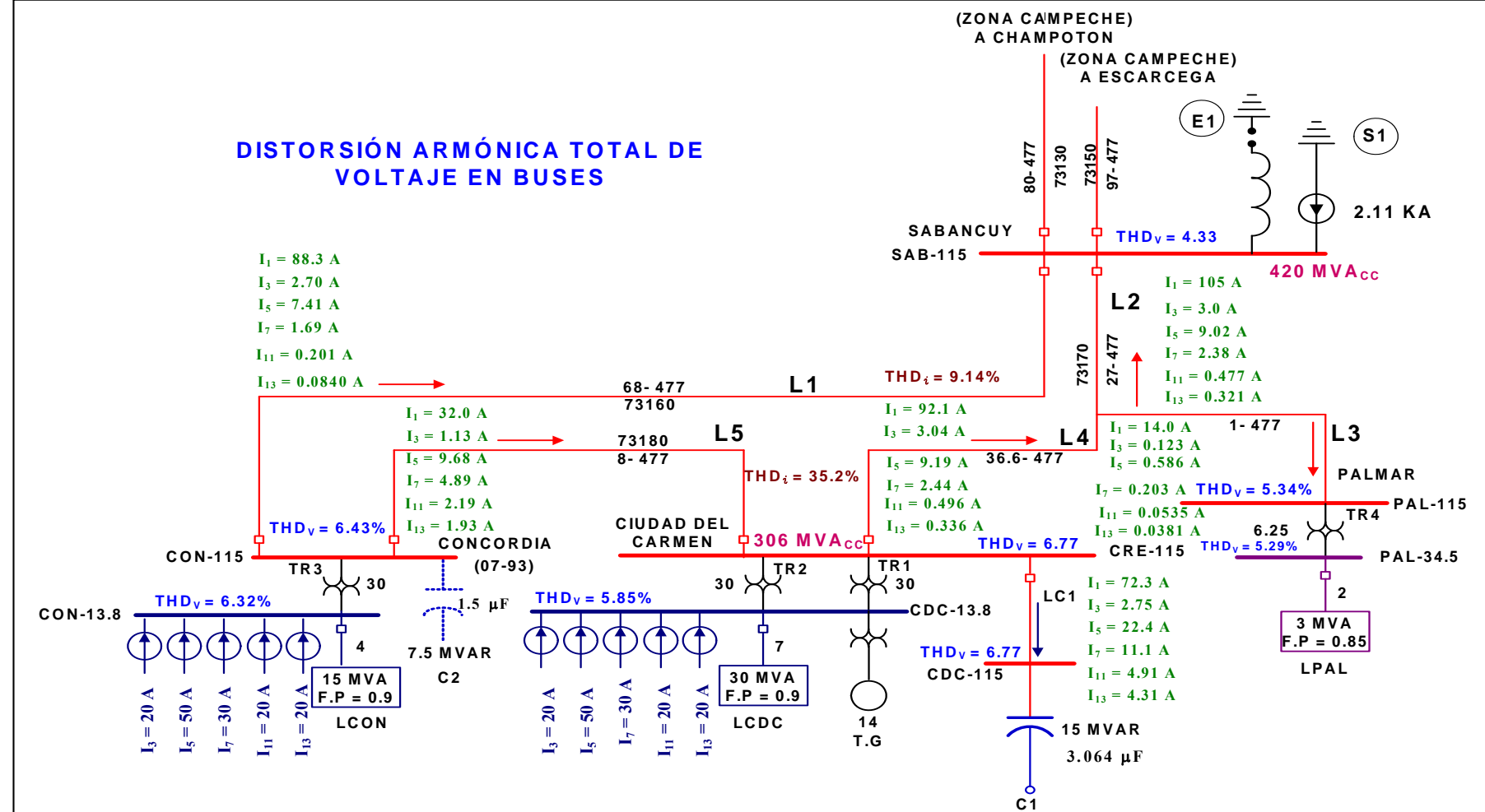


CDC21: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen y solo con banco de 15 MVAR de la Subestación Ciudad del Carmen.

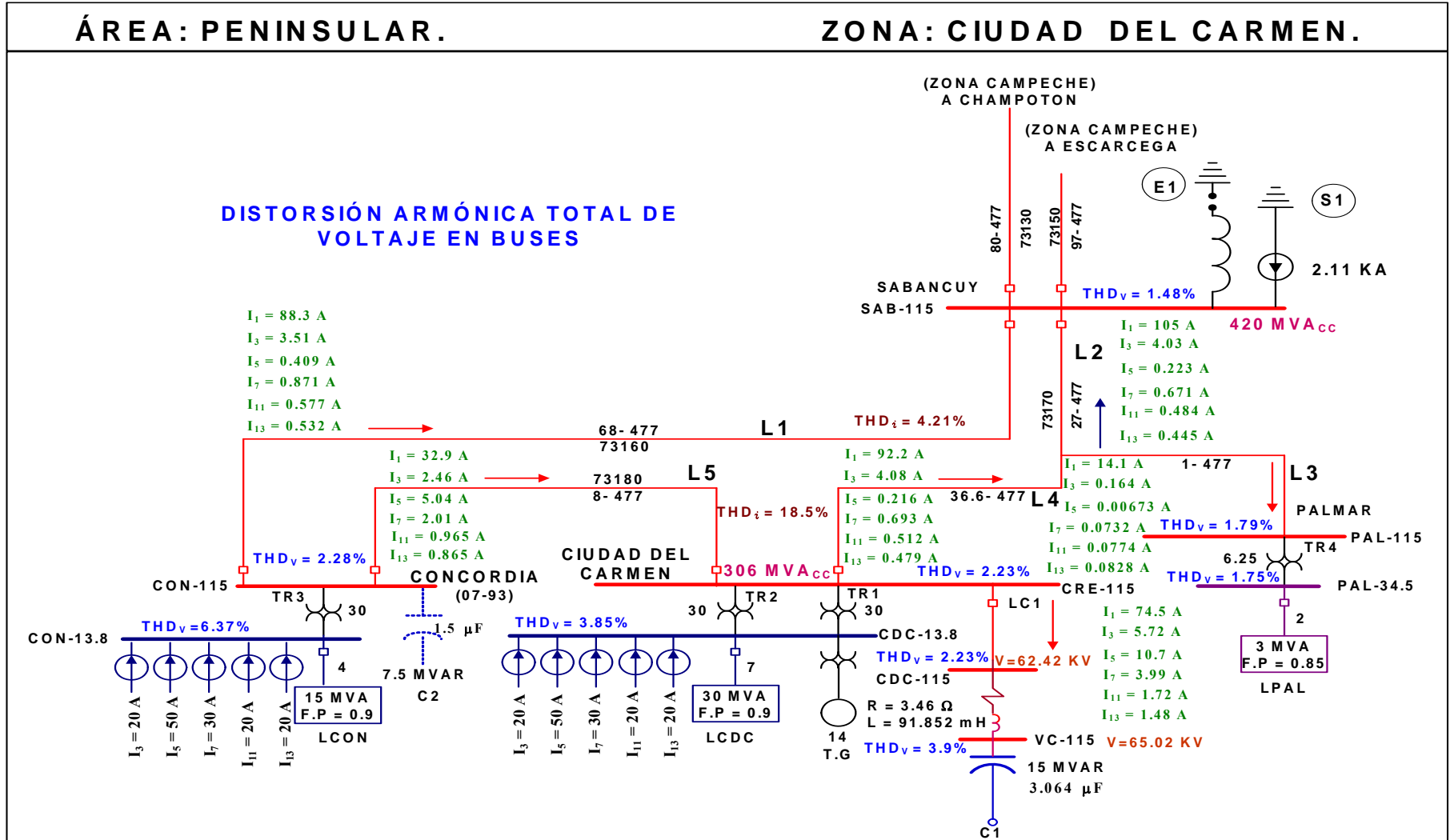
ÁREA: PENINSULAR.

ZONA: CIUDAD DEL CARMEN.

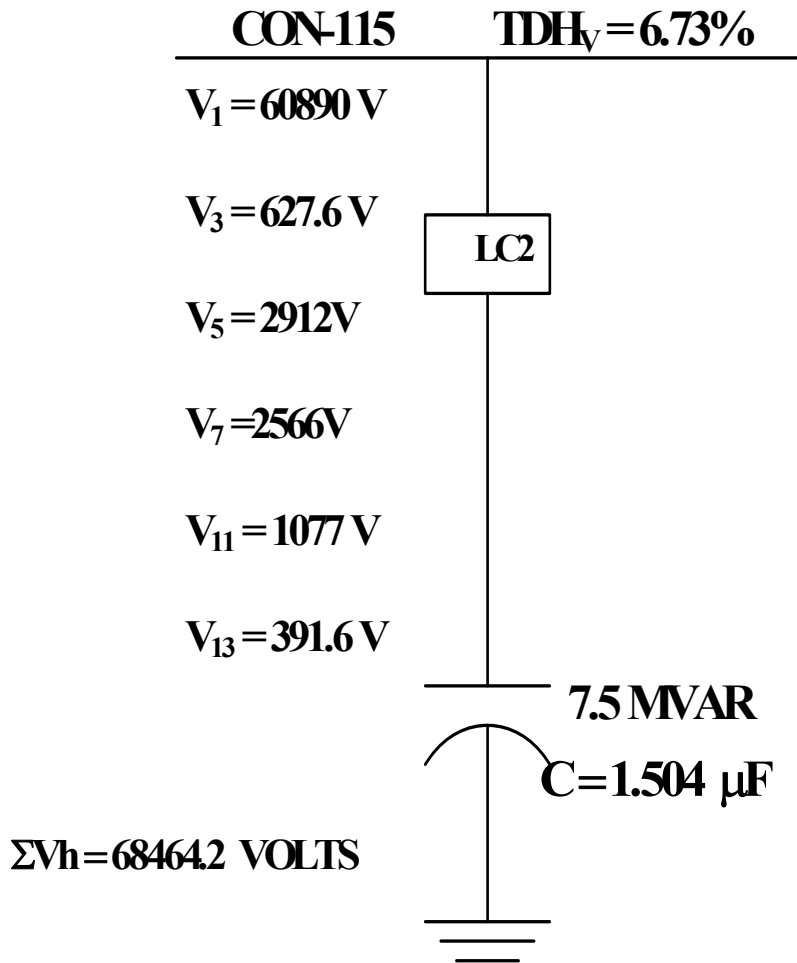
DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE VOLTAJE EN BUSES



CDC22: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen con banco de capacitores de 15 MVAR por filtro de 5ª armónica y $Q = 50$.



CDC20. Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las subestaciones Ciudad del Carmen y solo con banco de 7.5 MVAR de la Subestación Concordia.



SI CONSIDERAMOS EL VOLTAJE DE OPERACIÓN NOMINAL DE 66395 V, ENTONCES:

$$\Sigma V_h = 73969.2 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{73969.2}{66395} = 1.11 \text{ Vn}$$

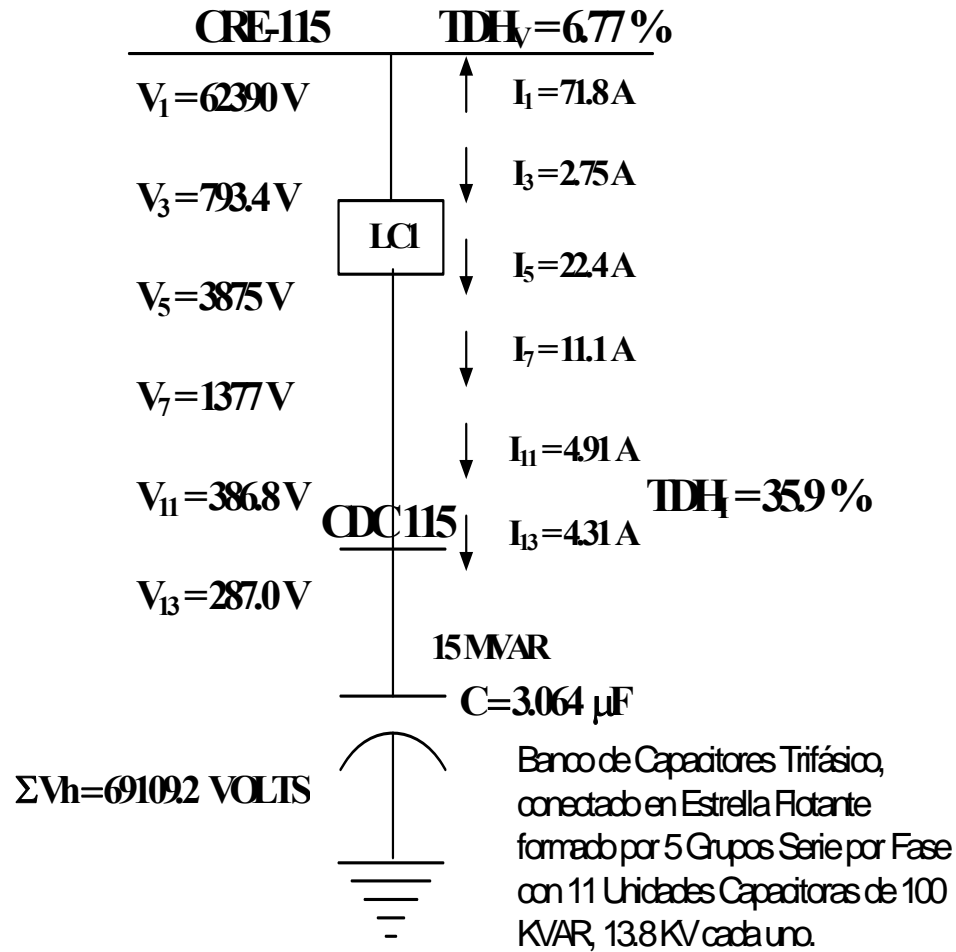
Las unidades capacitoras fabricadas con base a la norma IEEE STD 18, soportan el 10% de sobrevoltaje sin disminuir su vida útil.

Si se dimensiona el banco de capacitores de 7.5 MVAR con unidades capacitoras de 13.8 kV; el voltaje de operación de las unidades capacitoras es:

$$\frac{73969.2}{69000} = 1.072 \text{ PU's}$$

Inclusive podría operar el sistema a 1.03 PU'S de voltaje y el banco de capacitores operará correctamente.

CDC21. Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las Subestaciones Concordia y CD. del Carmen y solo con el banco de 15 MVAR de la Subestación CD. del Carmen.



SI CONSIDERAMOS EL VOLTAJE DE OPERACIÓN NOMINAL DE 66395V, ENTONCES:

$$\Sigma V_h = 73114.2 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{73114.2}{66395} = 1.10 \text{ Vn}$$

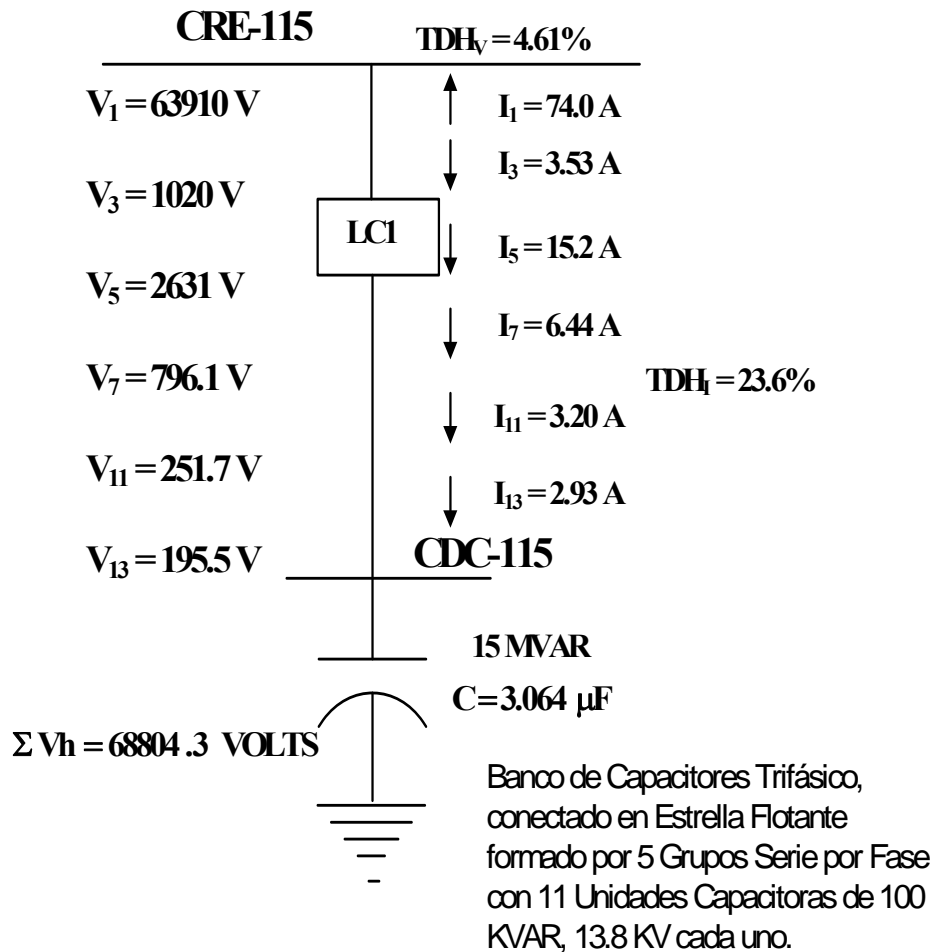
Las unidades capacitoras fabricadas con base a la norma IEEE STD 18, soportan el 10% de sobrevoltaje sin disminuir su vida útil.

Si se dimensiona el banco de capacitores de 15 MVAR con unidades capacitoras de 13.8 kV; el voltaje de operación de las unidades capacitoras es:

$$\frac{73114.2}{69000} = 1.059 \text{ PU's}$$

Inclusive podría operar el sistema a 1.04 PU'S de voltaje y el banco de capacitores operará correctamente.

CDC22. Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las S.E´S Concordia y CD. del Carmen, con bancos de 7.5 MVAR y 15 MVAR conectados.



SI CONSIDERAMOS EL VOLTAJE DE OPERACIÓN NOMINAL DE 66395 V, ENTONCES:

$$\Sigma V_h = 71289.8 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{71289.8}{66395} = 1.073 \text{ Vn}$$

Las unidades capacitoras fabricadas con base a la norma IEEE STD 18, soportan el 10% de sobrevoltaje sin disminuir su vida útil.

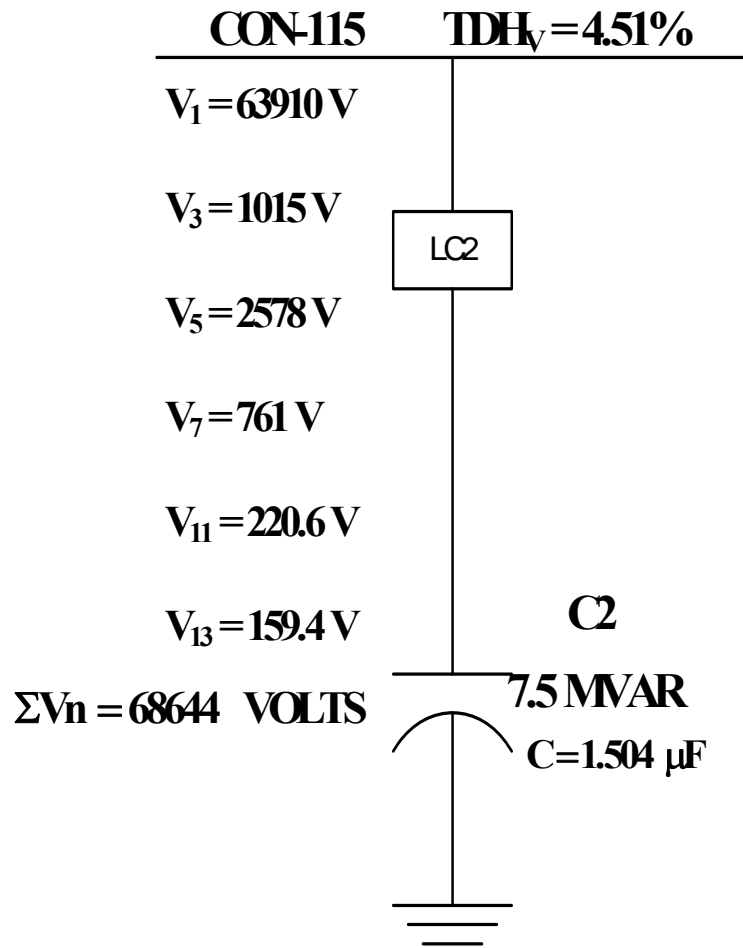
Si se dimensiona el banco de capacitores de 15 MVAR con unidades capacitoras de 13.8 kV; el voltaje de operación de las unidades capacitoras es:

$$\frac{71289.8}{69000} = 1.033 \text{ PU's}$$

Inclusive podría operar el sistema a 1.05 PU'S de voltaje

y el banco de capacitores operará correctamente.

CDC22. Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las S.E´S concordia y CD. del Carmen, con bancos de 7.5 MVAR y 15 MVAR conectados.



SI CONSIDERAMOS EL VOLTAJE DE OPERACIÓN NOMINAL DE 66395 V, ENTONCES:

$$\Sigma V_h = 71129 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{71129}{66395} = 1.07 \text{ V}_n$$

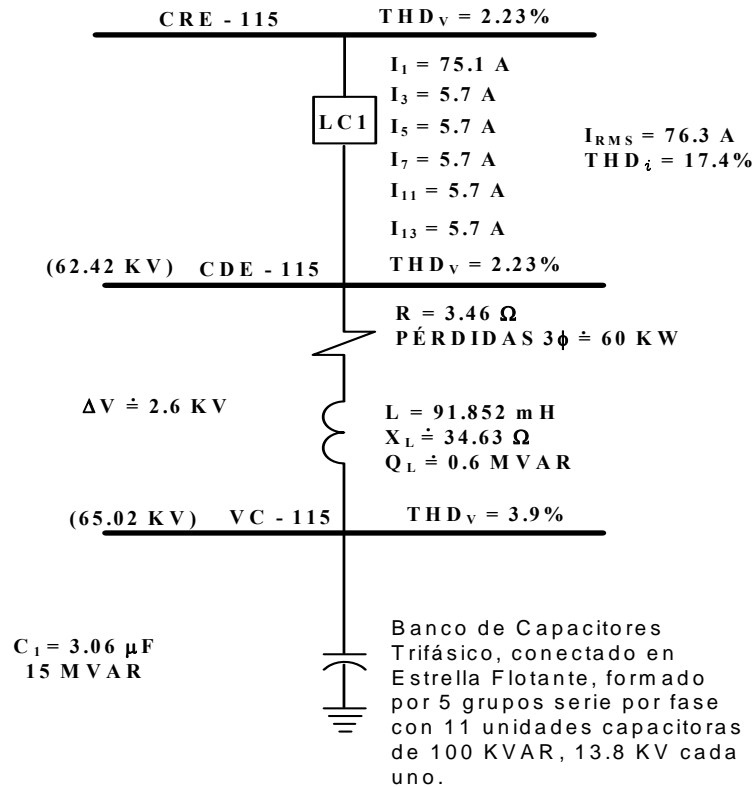
Las unidades capacitoras fabricadas con base a la norma IEEE STD 18, soportan el 10% de sobrevoltaje sin disminuir su vida útil.

Si se dimensiona el banco de capacitores de 7.5 MVAR con unidades capacitoras de 13.8 kV; el voltaje de operación de las unidades capacitoras es:

$$\frac{71129}{69000} = 1.03 \text{ PU's}$$

Inclusive podría operar el sistema a 1.05 PU's de voltaje y el banco de capacitores operará correctamente.

CDC22: Sistema con demanda media, con generación de armónicas en las Subestaciones Concordia y Ciudad del Carmen con banco de capacitores de 15 MVAR por filtro de 5ª armónica y $q = 50$.



Voltaje aplicado al banco de capacitores (V_C).

$$PARA \quad V_1 = 65.395 \text{ KV}$$

$$V_C = V_1 + V_3 + V_5 + V_7 + V_{11} + V_{13}$$

$$V_1 = (66.395 + 2.642) \text{ KV}$$

$$V_3 = 1.650 \text{ KV}$$

$$V_5 = 1.849 \text{ KV}$$

$$V_7 = 0.493 \text{ KV}$$

$$V_{11} = 0.135 \text{ KV}$$

$$V_{13} = 0.098 \text{ KV}$$

$$\Sigma V_n = 73.262 \text{ KV}$$

Voltaje de operación de unidades capacitoras

$$V_{OP} = \frac{73.262}{69.0} = 1.06 \text{ P.U.'S}, \text{ se tendría que utilizar unidades capacitoras de } 100 \text{ KVAR y}$$

$$V_n = 14.4 \text{ kv.}$$

RESULTADOS OBTENIDO DEL ANÁLISIS ARMÓNICO

CDC.TIF: Sistema con demanda media, con muy alta generación de armónicas en las S.E´S Concordia y CD. del Carmen y sin bancos de capacitores.

```

-----VOLTAGE KVT TIF & HDF, and RMS(kv) REPORT:

```

BUS_NAME	KVT	TIF	HDF (%)	RMS
CRE-115	0.380E+04	64.0	6.54	59.5
CDC-13.8	554.	80.4	8.92	6.89
SAB-115	0.258E+04	41.6	4.23	62.1
CON-115	0.390E+04	65.4	6.58	59.6
DER-115	0.309E+04	50.7	5.18	60.9
PAL-115	0.308E+04	50.7	5.18	60.9
CON-13.8	0.106E+04	152.	12.7	6.93
PAL-34.5	870.	48.6	5.09	17.9

MAXIMUM HDF at:CON-13.8 (12.7 %)

CDC20.TIF: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las S.E´S Concordia y CD. del Carmen y solo con el banco de 7.5 MVAR de la S.E. Concordia.

```

===== FREQ.= 60.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 60.89 KV 83.01deg I= 0.3443E-01 KA 173.01deg
P=-0.3240E-08 MW Q= -2.096 MVAR
===== FREQ.= 180.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 0.6276 KV 53.05deg I= 0.1065E-02 KA 143.05deg
P= 0.5323E-11 MW Q=-0.6682E-03 MVAR
===== FREQ.= 300.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 2.912 KV 25.17deg I= 0.8235E-02 KA 115.17deg
P=-0.8916E-10 MW Q=-0.2398E-01 MVAR
===== FREQ.= 420.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 2.566 KV -16.69deg I= 0.1016E-01 KA 73.31deg
P=-0.7147E-10 MW Q=-0.2607E-01 MVAR
===== FREQ.= 660.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 1.077 KV -93.77deg I= 0.6702E-02 KA -3.77deg
P=-0.1103E-10 MW Q=-0.7221E-02 MVAR
===== FREQ.= 780.00 Hz =====
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST ) at bus CON-115 :
V= 0.3916 KV -109.42deg I= 0.2879E-02 KA -19.42deg
P= 0.9020E-11 MW Q=-0.1127E-02 MVAR
=====

```

```

-----VOLTAGE KVT TIF & HDF, and RMS(kv) REPORT:

```

BUS_NAME	KVT	TIF	HDF (%)	RMS
CRE-115	0.298E+04	49.0	6.44	60.9
CDC-13.8	210.	29.9	6.50	7.04
SAB-115	0.210E+04	33.4	4.27	63.0
CON-115	0.330E+04	54.0	6.73	61.0
DER-115	0.246E+04	39.7	5.17	62.0
PAL-115	0.246E+04	39.7	5.17	62.0
CON-13.8	564.	79.9	8.15	7.07
PAL-34.5	698.	38.3	5.09	18.2

MAXIMUM HDF at:CON-13.8 (8.15 %)

CDC21.TIF: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las S.E'S Concordia y CD. del Carmen y solo con el banco de 15 MVAR de la S.E. CD. del Carmen.

```

=====  FREQ.=  60.00 Hz  =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CDC-115      To CRE-
115
  I=0.718E-01KA      -7.6deg.                      P=-.114E-01MW  Q= 4.48
MVAR
----- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 62.39      KV  82.54deg  I= 0.7207E-01 KA  172.54deg
P=-0.1456E-07 MW      Q= -4.497      MVAR
=====  FREQ.=  180.00 Hz  =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
  I=0.275E-02KA      134.8deg.                      P=-.281E-06MW  Q=-.219E-
02MVAR
----- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 0.7934      KV  44.79deg  I= 0.2749E-02 KA  134.79deg
P= 0.1590E-10 MW      Q=-0.2182E-02 MVAR
=====  FREQ.=  300.00 Hz  =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
  I=0.224E-01KA      63.9deg.                      P=-.235E-04MW  Q=-.867E-
01MVAR
----- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 3.875      KV  -26.13deg  I= 0.2238E-01 KA  63.87deg
P=-0.1456E-08 MW      Q=-0.8671E-01 MVAR
=====  FREQ.=  420.00 Hz  =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
  I=0.111E-01KA      8.5deg.                      P=-.108E-05MW  Q=-.153E-
01MVAR
----- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 1.377      KV  -81.50deg  I= 0.1113E-01 KA  8.50deg
P= 0.4750E-10 MW      Q=-0.1532E-01 MVAR

```

```

===== FREQ.= 660.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.491E-02KA   -24.3deg.                P=0.145E-06MW   Q=-.190E-
02MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 0.3868      KV -114.33deg I= 0.4914E-02 KA  -24.33deg
P=-0.3200E-10 MW      Q=-0.1901E-02 MVAR
===== FREQ.= 780.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.431E-02KA   -32.6deg.                P=-.159E-07MW   Q=-.124E-
02MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 0.2870      KV -122.63deg I= 0.4309E-02 KA  -32.63deg
P=-0.1911E-11 MW      Q=-0.1237E-02 MVAR
=====
-----VOLTAGE KVT TIF & HDF, and RMS(kv) REPORT:
BUS_NAME      KVT      TIF      HDF (%)      RMS
CDC-115      0.180E+04  28.9      6.76      62.5
CRE-115      0.180E+04  28.8      6.76      62.5
CDC-13.8      283.      39.1      5.84      7.23
SAB-115      0.111E+04  17.3      4.32      64.1
CON-115      0.150E+04  24.0      6.42      62.5
DER-115      0.140E+04  22.1      5.34      63.3
PAL-115      0.140E+04  22.1      5.34      63.3
CON-13.8      651.      90.1      6.31      7.23
PAL-34.5      398.      21.4      5.28      18.6
MAXIMUM HDF at: CDC-115      ( 6.76      %)
I-HDF, kIT, ITIF and I-RMS REPORT:
Line #LC1      (CRE-115 -CDC-115      ) Type=LIN_RL
Sending      End I-HDF%,kIT,ITIF & I-RMS:  36.2      20.3      265.
0.764E-01

```

CDC22.TIF: Sistema con demanda media, con generación de armónicas moderada en las S.E'S Concordia y CD. del Carmen, con bancos de 7.5 MVAR y 15 MVAR conectados.

```

===== FREQ.= 60.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CDC-115      To CRE-
115
I=0.740E-01KA   -8.0deg.                P=-.107E-01MW   Q= 4.73
MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 63.91      KV  82.17deg I= 0.7382E-01 KA  172.17deg
P=-0.1883E-07 MW      Q= -4.717      MVAR
Filter:#C2      (Type=FILTR_ST  ) at bus CON-115      :
V= 63.95      KV  82.26deg I= 0.3616E-01 KA  172.26deg
P=-0.9447E-08 MW      Q= -2.312      MVAR
===== FREQ.= 180.00 Hz =====

```



```

----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.353E-02KA   122.9deg.                P=-.176E-05MW   Q=-.360E-
02MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 1.020      KV   32.83deg I= 0.3535E-02 KA  122.83deg
P=-0.2098E-10 MW                Q=-0.3606E-02 MVAR
Filter:#C2      (Type=FILTR_ST  ) at bus CON-115      :
V= 1.015      KV   33.18deg I= 0.1721E-02 KA  123.18deg
P=-0.2923E-11 MW                Q=-0.1747E-02 MVAR
===== FREQ.= 300.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.152E-01KA   24.0deg.                P=-.713E-05MW   Q=-.400E-
01MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 2.631      KV  -65.99deg I= 0.1520E-01 KA  24.01deg
P= 0.4288E-09 MW                Q=-0.3999E-01 MVAR
Filter:#C2      (Type=FILTR_ST  ) at bus CON-115      :
V= 2.578      KV  -65.41deg I= 0.7289E-02 KA  24.59deg
P=-0.2342E-10 MW                Q=-0.1879E-01 MVAR
===== FREQ.= 420.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.644E-02KA   -6.3deg.                P=0.107E-06MW   Q=-.513E-
02MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 0.7961     KV  -96.31deg I= 0.6437E-02 KA  -6.31deg
P= 0.4248E-11 MW                Q=-0.5125E-02 MVAR
Filter:#C2      (Type=FILTR_ST  ) at bus CON-115      :
V= 0.7612     KV  -95.48deg I= 0.3013E-02 KA  -5.48deg
P=-0.2970E-11 MW                Q=-0.2294E-02 MVAR
===== FREQ.= 660.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115
I=0.320E-02KA   -28.6deg.                P=-.383E-07MW   Q=-.805E-
03MVAR
---- FILTERS REPORT:
Filter:#C1      (Type=FILTR_ST  ) at bus CDC-115      :
V= 0.2517     KV -118.57deg I= 0.3199E-02 KA  -28.57deg
P= 0.4679E-11 MW                Q=-0.8052E-03 MVAR
Filter:#C2      (Type=FILTR_ST  ) at bus CON-115      :
V= 0.2206     KV -117.17deg I= 0.1372E-02 KA  -27.17deg
P= 0.2918E-11 MW                Q=-0.3028E-03 MVAR
===== FREQ.= 780.00 Hz =====
----- CURRENT REPORT:
Line:#LC1      (LIN_RL      ) curr. & power flows From CRE-115      To CDC-
115

```

I=0.293E-02KA -35.4deg. P=0.192E-07MW Q=-.573E-03MVAR

---- FILTERS REPORT:

Filter:#C1 (Type=FILTR_ST) at bus CDC-115 :
V= 0.1955 KV -125.44deg I= 0.2935E-02 KA -35.44deg
P=-0.3853E-11 MW Q=-0.5737E-03 MVAR
Filter:#C2 (Type=FILTR_ST) at bus CON-115 :
V= 0.1594 KV -123.63deg I= 0.1172E-02 KA -33.63deg
P= 0.9350E-12 MW Q=-0.1867E-03 MVAR

-----VOLTAGE KVT TIF & HDF, and RMS(kv) REPORT:

BUS_NAME	KVT	TIF	HDF (%)	RMS
CDC-115	0.117E+04	18.3	4.62	64.0
CRE-115	0.117E+04	18.3	4.61	64.0
CDC-13.8	300.	40.6	3.48	7.40
SAB-115	750.	11.5	3.02	65.1
CON-115	0.106E+04	16.5	4.51	64.0
DER-115	925.	14.3	3.69	64.5
PAL-115	925.	14.3	3.69	64.5
CON-13.8	666.	90.0	4.25	7.40
PAL-34.5	263.	13.9	3.65	19.0

MAXIMUM HDF at: CDC-115 (4.62 %)

I-HDF, kIT, ITIF and I-RMS REPORT:

Line #LC1 (CRE-115 -CDC-115) Type=LIN_RL
Sending End I-HDF%,kIT,ITIF & I-RMS: 23.6 13.4 176.
0.760E-01