

วิธีทดสอบคุณสมบัติของฉนวนไฟฟ้า

METHODS FOR TESTING ELECTRICAL INSULATING COMPOUNDS

ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติอย่างหนึ่งอย่างใดของฉนวนไฟฟ้า จำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายหลายอย่าง เช่น ความชื้น และ อุณหภูมิ ในขณะทำการทดลอง, วิธีการที่ทดสอบคุณสมบัตินั้น ๆ ของฉนวน, Electrode ที่ใช้ในการวัด, รูปร่างของ Specimen ตลอดจนวิธีการเตรียม Specimen

การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารเทอร์โมพลาสติกครึ่งมีวชิเตรียม Specimen และการทดลอง ดังนี้

6.1 วิธีเตรียม Specimen

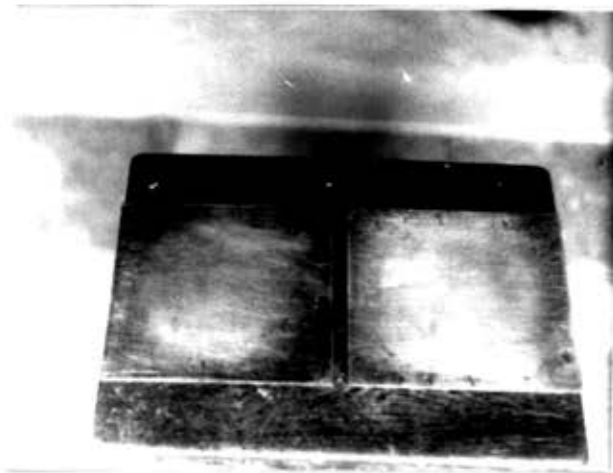
6.1.1 การหาอุณหภูมิที่สารเทอร์โมพลาสติกอ่อนตัว นำสารเทอร์โมพลาสติกชนิดที่เป็นเม็ด มาเข้าเตาอบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายใน เตาได้เพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 5-10°C สังเกตดูว่า สารนั้นจะเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิใด (Deformation temperature) เพื่อใช้เป็นอุณหภูมิในการอัดเป็นแผ่น ด้วยเครื่องอัด (ดูรูปที่ 6.4)ต่อไป อุณหภูมิดังกล่าว แสดงไว้ในตารางที่ 6.1



รูปที่ 6.1 สารเทอร์โมพลาสติกชนิดเม็ด



รูปที่ 6.2 เตาอบไฟฟ้า



รูปที่ 6.3 แผ่นโลหะอลูมิเนียม

ก๊อค์ไฮโดรลิกให้ไค้ความกัน \approx 41 กิโลกรัม กอวารางเซนติเมตร
(6000 psi)

ตั้งไว้ประมาณ 3 นาที เพื่อให้สารเทอร์โมพลาสติก set ตัวค้
แล้วปลดแรงกันไฮดรอลิกออก รอให้แผ่นอคูมิเนี่ยมเย็น แล้วแกะแผ่น
อคูมิเนี่ยมออกจากแผ่น specimen ก็จะได้แผ่นสารเทอร์โมพลาสติกที่ไ้
สำหรับการทดลองตามต้องการ

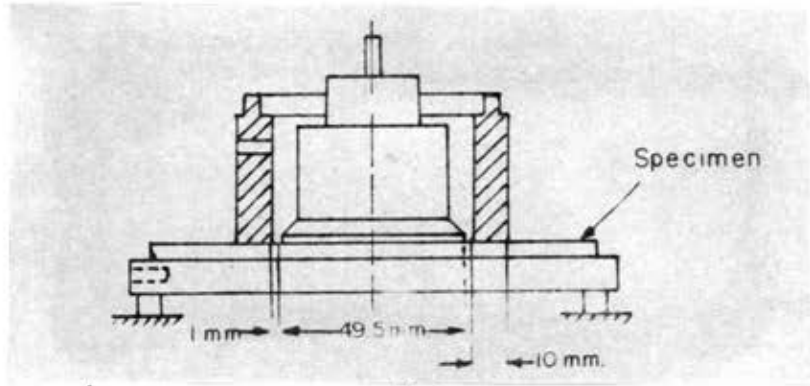


รูปที่ 6.5 แผ่นสารเทอร์โมพลาสติกที่ไ้ใช้เการทดสอบ

6.2 วิธีวัดค่า Dielectric constant และค่า Dissipa-
tion factor

6.2.1 วัดที่อุณหภูมิห้อง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ไ้ใช้ในการทดลอง
ครั้งนี้ ประกอบด้วย

ก. Electrode ทรงแหล่ง ทำขึ้นตามมาตรฐานของ
ประเทศเยอรมัน (VDE 0303 part 3/10.55) รูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 Electrode ที่ใช้ในการวัด ϵ_r , $\tan \delta$ และ ρ

ข. Impedance bridge ของบริษัท General Radio
Type 1650 A Serial No. 5718



รูปที่ 6.7 การวัดหาค่า ϵ_r และ $\tan \delta$

การวัด $\tan \delta$ และ ϵ_r วัด 6 ค่า สำหรับ Specimen ขึ้นหนึ่ง โดย
เลื่อน Electrode ไปบนตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่น Specimen ค่า
 $\tan \delta$ อ่านได้โดยตรง ส่วน ค่า ϵ_r ต้องคำนวณได้จากค่า C บน
Capacitance dial ภายสมการ (2.13)

6.2.2 เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ ใช้เครื่องมือทดลอง และการทดลอง เช่นเดียวกับ 6.2.1 แต่ Electrode และ Specimen อยู่ในเตาอบ เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องครั้งละ ประมาณ 5°C วัดค่า Power factor และค่า Capacitance ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันจาก 30°C ถึง 80°C

6.3 การวัดค่า Volume resistivity

ใช้ Volt meter-ammeter method ซึ่งเป็นวิธีวัดค่า Resistivity สูง ๆ เครื่องมือที่ใช้ Micro-micro ammeter ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 10^{-14} แอมแปร์ Model 410 Manufacturer: Keithley Instrument, Cleveland OHIO U.S.A. ส่วน volt meter เป็น Digital Volt meter Type DM 2020 Serial No. 11174 (ดูรูป 6.10) กระแสไฟฟ้าในวงจรได้จาก D.C. Supply โดย Regulated Power Supply Model 32 ของบริษัท Heathkit (ดูรูปที่ 6.11) เมื่อ voltage สูงไม่เกิน 400 โวลต์ แต่ตาต้องการ Voltage สูงกว่า 400 โวลต์ ใช้แอมป์เตอร์แห่งที่มี Voltage ก่อนละ 300 โวลต์ มาต่ออนุกรม ใช้ Electrode ดังรูปที่ 6.6 ต่อวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.9

เพิ่ม Voltage จาก 0 โวลต์ ขึ้นครั้งละ 100 โวลต์ จนถึง 400 โวลต์ แล้วใช้ Batteries แทน Regulated Power Supply เพิ่มขึ้นครั้งละตัว (300 v) จนได้ Voltage ถึงประมาณ 1000 โวลต์ ในตารางที่ 2 ของ Specimen แต่ละชนิด ρ เป็นค่าคำนวณจากค่าเฉลี่ยของกระแส และ Voltage ก่อนเพิ่มขึ้นและลดลง

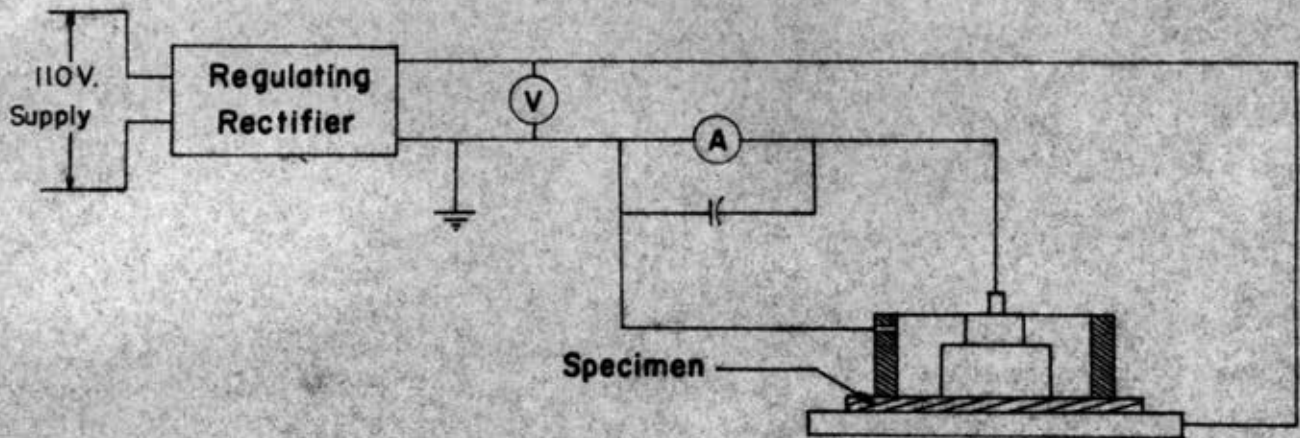


Fig 69 Schematic Diagram For Testing Insulation Resistance

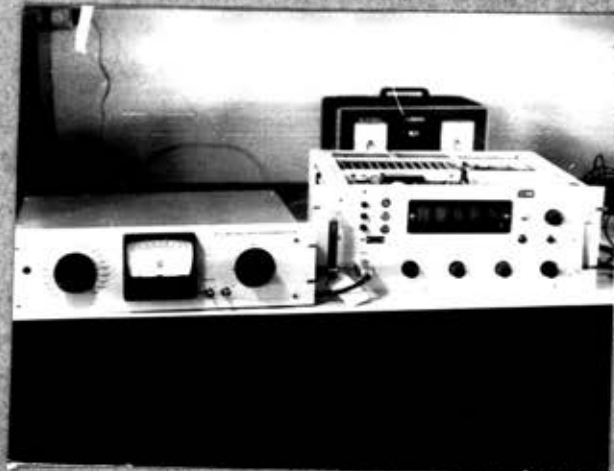


Fig. 6.10 Micro - micro Ammeter and Digital Voltmeter

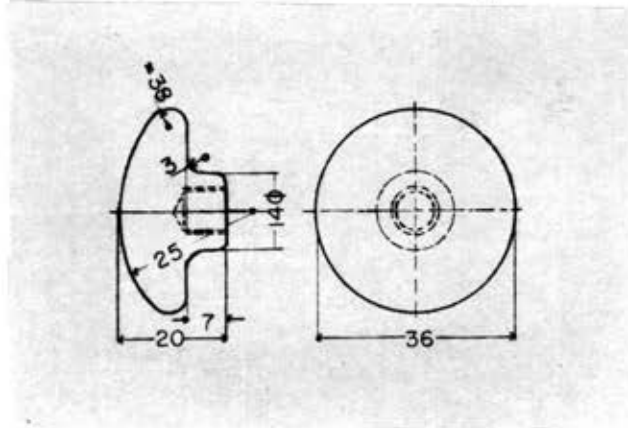


Fig. 6.11 Regulated power supply

6.4 การวัดค่า Breakdown electric field intensity (E_B)

Electrode สำหรับการทดลองครั้งนี้ มีรูปร่างและ

ขนาด ตาม VDE 0303 part 2/10.55 (ดังรูป 6.12)



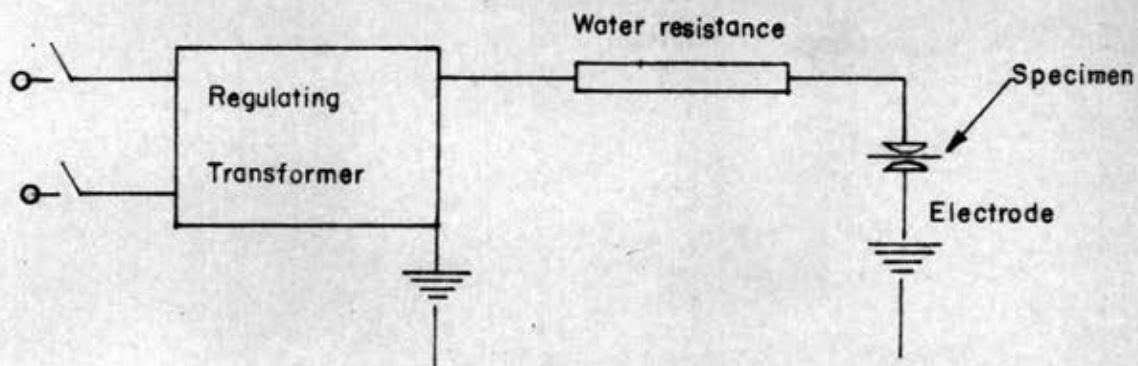
รูปที่ 6.12 Electrode สำหรับ Test ค่า E_B

Transformer เป็นชนิดที่เปลี่ยนค่า Secondary voltage

ได้จาก 0 ถึง 35 กิโลโวลต์ ผลิตจากบริษัท General Radio



รูปที่ 6.13 Testing transformer



รูปที่ 6.14 วงจรการวัด Breakdown Electric Field Intensity



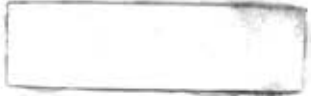








ในการทดลองครั้งนี้ ค่อย ๆ เพิ่ม **Testing voltage** ให้สูงขึ้น ด้วยอัตราประมาณ 0.5 ถึง 1 KV ต่อวินาที จนกระทั่งเกิด Break down ถ้า Break down electric field intensity (E_B) ได้จากค่า Break down voltage (V_B) ที่วัดได้ Significance of the dielectric strength test นี้ แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 6.1

Deformation Temperature of Thermoplastics

ชนิด	Manufacturer	Deformation Temp.
P.E. ดำ	U.S.I.	155°C
P.E. ไส	U.S.I.	160°C
PVC สีแดง	Yazaki	169°C
PVC Natural	Samitomo	160°C
PVC White	Samitomo	155°C
PVC ผสมสีเขียว	Samitomo	155°C
PVC ผสมสีน้ำตาล	Samitomo	155°C
PVC White	ICI	160°C
PVC Blue	ICI	160°C
PVC ผสมสีฟ้า	ICI	160°C
PVC ดำ	(โซฟารองเท้า)	145°C

ตัวอย่าง สารเทอร์โมพลาสติก

Specimen No. 1	PVC	สีฟ้า (ICI)	
Specimen No. 2	PVC	ผสมสีฟ้า (ICI)	
Specimen No. 3	PVC	ขาว (ICI)	
Specimen No. 4	PE	สีดำ	
Specimen No. 5	PVC	สีแสด (Yazaki)	
Specimen No. 6	PVC	Natural (Samitomo)	
Specimen No. 7	PVC	White (Samitomo)	
Specimen No. 8	PVC	ผสมสีเขียว (Samitomo)	
Specimen No. 9	PVC	สีดำ (ใช้ทำรองเท้า)	
Specimen No. 10	P.E.	ใส	
Specimen No. 11	PVC	ผสมสีน้ำตาล (Samitomo)	

การวัดที่ 1 104 Specimen 300 1

PVC สี.ห. ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

Room Temperature (28°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลวัตต์/ม.ม.)
.230	2.96	.054	59.5
.3125	3.62	.0645	58.0
.3775	3.71	.066	57.8
.535	4.10	.072	55.8
.5675	4.22	.0695	53.0
.775	4.69	.083	52.5

ตารางที่ 1 ตาราง Specimen ที่ 2

PVC สมบัติ (มว) ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_{30} (กิโลวัตต์/มม.)
.208	2.96	0.054	80.8
.269	3.62	0.0645	71.2
.344	-	-	69.0
.359	3.71	0.066	67.7
.374	-	-	66.7
.471	-	-	59.5
.561	-	-	57.4
.559	4.22	0.0695	-
.520	4.10	0.072	-
.762	4.59	0.083	-

Specimen No. 1 201 Specimen No. 3

Imperial Chemical Industries

Room Temperature (28°C)

ความหนา (มม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_g (กิโลกรัม/มม.)
0.254	3.58	0.052	74.8
0.335	3.82	0.061	65.0
0.428	4.75	0.066	54.4
0.519	5.35	0.058	52.1
0.742	5.56	0.062	40.0
0.753	5.45	0.068	-

TABLE 1.23. Specimen 2008 4

PE ผลิตโดย U.S. Industrial Chemicals

Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลกรัม/มม.)
.223	2.44	0.126	—
.287	—	—	80.0
.290	—	—	84.5
.298	—	—	35.0
.299	—	—	80.2
.304	—	—	82.3
.315	—	—	81.1
.316	—	—	77.5
.333	—	—	76.0
.342	—	—	73.0
.345	—	—	75.0
.354	3.185	0.155	—
.355	—	—	73.3
.356	—	—	73.0
.359	—	—	72.0
.365	—	—	70.0
.384	3.72	0.1705	—
.402	—	—	69.0

ตารางที่ 1 ของ Specimen 19014 (๑๑)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_{30} (กิโลวัตต์/มม.)
.4115	---	---	---
.4195	3.842	0.173	---
.433	3.54	0.1706	---
.473	3.64	0.176	---

ตารางที่ 1 ของ Specimen ชนิดที่ 5
PVC สีแดง ชนิดที่ 5 บริษัทสายโกลด์โพลีเมอร์

Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม.)	E_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลวัตต์/ม.ม.)
.257	3.36	0.1065	70.0
.300	4.37	0.110	65.1
.306	4.27	0.100	65.0
.322	3.68	0.0615	61.3
.355	5.18	0.110	59.3
.430	4.65	0.1191	55.8
.445	5.45	0.120	55.8
.448	5.17	0.1158	55.8
.480	5.08	0.1191	53.2
.483	3.92	0.0811	53.0
.527	5.85	0.132x5	51.5

การวัด 1 ของ Specimen หมายเลข 6

PVC Natural ผลิตโดย บริษัท Samitoko

Room Temperature (31°C)

<u>ความหนา</u> (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลวัตต์/มม.)
0.166	1.72	0.0546	71.5
0.224	3.02	0.0586	67.8
0.326	3.46	0.0658	60.1
0.386	3.71	0.0653	56.0
0.407	4.32	0.0695	55.0
0.733	4.45	0.0750	-

ตารางที่ 1 ตาราง Specimen ชุดที่ 7

PVC White อีซีเอ บีเอ็ม Sanitomo

Room Temperature (29°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_f	$\tan \delta$	E_B (กิโลจูล/ม.ม.)
0.181	5.27	0.1263	76.0
0.270	3.58	0.0966	64.2
0.283	4.12	0.1165	63.5
0.420	5.31	0.1280	55.9
0.473	4.62	0.1190	52.4
0.5026	4.26	0.1080	52.1
0.578	3.05	0.0853	48.3

ตารางที่ 1 PVC Specimen ชนิดที่ 8

PVC สีชมพูเข้ม ชนิดไทย ไร้ตะกั่ว Sanitomo

Room Temperature (32°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลวัตต/มม.)
0.279	3.27	0.064	64.5
0.312	3.82	0.065	62.5
0.351	3.66	0.071	58.5
0.399	4.05	0.065	55.0
0.431	4.48	0.071	53.0
0.498	4.38	0.096	47.5
0.510	4.32	0.074	46.0
0.531	4.28	0.073	45.3

ตารางที่ 1.503 Specimen ชนิดที่ 10

PE โฟลีโอลีน U.S. Industrial Chemicals

Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B ✓ (กิโลวัตต/มม.)
0.252	1.58	0.022	93.1
0.257	1.88	0.033	92.3
0.289	1.63	0.029	89.4
0.292	1.79	0.0275	89.1
0.298	1.58	0.035	87.2
0.368	2.08	0.026	78.8
0.373	1.96	0.028	74.5
0.611	2.12	0.044	-
0.623	2.28	0.041	-

ตารางที่ 1 ของ Specimen ชนิดที่ 11

PVC ชนิดน้ำใส (๗๑) ผลิตโดย บริษัท Sanitomo

Room Temperature (31°C)

ความถี่ (ม.ค.)	ϵ_r	$\tan \delta$	E_B (กิโลวัตต์/เมตร.)
0.293	3.67	0.063	61.5
0.349	3.75	0.060	57.0
0.428	4.54	0.061	52.5
0.445	4.88	0.060	51.1
0.453	4.68	0.060	50.8
0.477	5.12	0.062	49.5
0.548	4.94	0.062	47.1

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 1

PVC สีฟ้า ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

Room Temperature (26°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	○ (โอม-ม.ม.)
0.4943	100	5.67×10^{14}
	200	4.73×10^{14}
	300	3.67×10^{14}
	400	3.34×10^{14}
	517	2.63×10^{14}
	540	1.3×10^{14}
	775	1.55×10^{14}
	790	1.565×10^{14}
	1,040	0.96×10^{14}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 2

PVC ยึดสีฟ้า(ผง) ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

Room Temperature (28°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	ρ (โอม-ซม.)
0.359	100	5.56×10^{14}
	200	4.42×10^{14}
	300	3.40×10^{14}
	400	2.71×10^{14}
	520	2.08×10^{14}
	541	1.93×10^{14}
	764	1.07×10^{14}
	785	1.02×10^{14}
	1,030	0.54×10^{14}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 3

PVC ทั่วไป ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

Room Temperature (28°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	ρ (โอห์ม-ซม.)
0.228	100	1.4×10^{15}
	200	1.11×10^{15}
	300	1.032×10^{15}
	400	0.943×10^{15}
	553	0.883×10^{15}
	565	0.615×10^{15}
	765	0.855×10^{15}
	785	0.588×10^{15}
	1,024	0.677×10^{15}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 5
PVC สีแดง ผลิตโดย บริษัทสายใยสังเคราะห์ไทยยาซากิ

Room Temperature (28°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	ρ (โชม-ชม.)
(No. 4) 0.435	100	2.73×10^{14}
	200	2.57×10^{14}
	300	2.14×10^{14}
	400	1.845×10^{14}
	550	0.618×10^{14}
	560	0.843×10^{14}
	760	0.613×10^{14}
	780	0.568×10^{14}
	1,025	0.343×10^{14}
(No. 3) 0.74	100	1.072×10^{14}
	150	0.97×10^{14}
	200	0.907×10^{14}
	250	0.84×10^{14}
	300	0.787×10^{14}
	350	0.734×10^{14}
	400	0.679×10^{14}
	555	0.42×10^{14}
	565	0.418×10^{14}
	785	0.371×10^{14}
	800	0.366×10^{14}
1,050	0.278×10^{14}	

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 6

PVC Natural ผลิตโดย บริษัท Samitomo

Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม)	Applied Voltage	ρ (โอห์ม-ซม.)
(No.0)0.733	100	1.665×10^{13}
	200	1.632×10^{13}
	300	1.648×10^{13}
	400	1.664×10^{13}
	530	1.489×10^{13}
	540	1.664×10^{13}
	780	1.64×10^{13}
	790	1.664×10^{13}
	1,040	1.54×10^{13}
(No.1)0.405	100	3.58×10^{15}
	200	2.42×10^{15}
	300	2.42×10^{15}
	400	2.04×10^{15}
	555	1.49×10^{15}
	790	0.87×10^{15}
	815	0.582×10^{15}
	1,060	0.576×10^{15}
1,070	0.528×10^{15}	

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 7
PVC White ผู้ผลิต บริษัท Samitomo
Room Temperature (30°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	ρ (โอม-ซม.)
0.51	100	1.828×10^{15}
	200	1.23×10^{15}
	300	1.152×10^{15}
	400	0.992×10^{15}
	530	0.783×10^{15}
	540	0.592×10^{15}
	780	0.65×10^{15}
	790	0.45×10^{15}
	1,040	0.454×10^{15}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ที่ 8
PVC สีขมเขียว ผลิตโดย บริษัท Samitomo

Room Temperature (32°C)

ความหนา (ม.ม)	Applied Voltage	ρ (โอม-ซม.)
0.521	100	8.2×10^{12}
	200	7.53×10^{12}
	300	6.68×10^{12}
	400	6.29×10^{12}
	526	5.35×10^{12}
	540	5.65×10^{12}
	780	4.89×10^{12}
	790	4.97×10^{12}
	1,040	4.56×10^{12}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 9

PVC สีดำ (รองเทา)

Room Temperature (29°C)

ความหนา (ม.ม)	Applied Voltage	f (โอม-ม.)
0.413	100	9.88×10^{12}
	200	9.68×10^{12}
	300	9.78×10^{12}
	400	9.87×10^{12}
	530	8.83×10^{12}
	540	9.87×10^{12}
	780	9.78×10^{12}
	790	9.87×10^{12}
	1,040	9.14×10^{12}

ตารางที่ 2 ของ Specimen ชนิดที่ 11
PVC ผสมสีน้ำตาล(แดง) ผลิตโดย บริษัท Samitomo
อุณหภูมิห้อง (33°C)

ความหนา (ม.ม.)	Applied Voltage	ρ (โอม-ซม.)
0.347	100	5.18×10^{14}
	200	4.81×10^{14}
	300	3.9×10^{14}
	400	3.28×10^{14}
	541	1.8×10^{14}
	560	1.51×10^{14}
	750	0.476×10^{14}
	780	0.595×10^{14}

Specimen 1

Imperial Chemical Industries

	Wt. (N.M.)	Temp. (°C)	ϵ_r	tan δ
(No. 1)	0.501	45	5.35	0.029
		50	5.20	0.0283
		55	5.10	0.028
		60	5.07	0.027
		65	5.05	0.026
		70	5.05	0.026
		75	5.05	0.026
		80	5.05	0.026
		85	5.05	0.025
		90	5.05	0.026
(No. 2)	0.253	85	3.76	0.022
		80	3.78	0.022
		75	3.78	0.022
		70	3.80	0.021
		65	3.80	0.019
		60	3.80	0.019
		55	3.82	0.020
		50	3.80	0.020
45	3.80	0.021		

215193 3 200 Specimen 2201 1 (10)

2110 317 (No. 3)	22010 (%)	ϵ_r	tan δ
(No. 3) 2.896	45	3.83	0.037
	50	3.84	0.037
	55	3.84	0.035
	60	3.85	0.034
	65	3.854	0.033
	70	3.86	0.033
	75	3.88	0.029
	80	3.92	0.0284
	85	3.95	0.0244
(No. 1) 0.327	45	4.82	0.087
	50	4.44	0.085
	55	4.44	0.057
	60	4.60	0.072
	65	4.35	0.062
	70	4.35	0.056
	75	4.42	0.047
	80	4.34	0.045

TABLE 3 - C Specimen $\frac{1}{2} \times 1 \times 1$ (in.)

STRAIN (%)	STRESS (psi)	ϵ_r	ERROR ²
(10.6) 0.466	45	3.27	0.063
	50	3.78	0.063
	55	3.54	0.062
	60	3.97	0.068
	65	4.05	0.054
	70	4.07	0.049
	75	4.37	0.059
	80	4.16	0.0707
	85	4.64	0.048
	90	4.60	0.047

ตารางที่ 3 Impurity Content of PVC
PVC ชนิดที่ 1 (ผง) ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

การวิเคราะห์ (หมายเลข)	จำนวน (ครั้ง)	\bar{x}_r	ค่า δ
(No. 1) 0.559	53	4.80	0.052
	60	4.85	0.052
	46	4.88	0.052
	55	4.91	0.052
	61	4.94	0.052
	67	4.97	0.052
	71	5.00	0.052
	76	5.05	0.052
(No. 2) 0.359	34	3.73	0.047
	35	3.82	0.047
	47	3.86	0.047
	56	3.87	0.047
	63	3.90	0.047
	68	3.95	0.047
	75	3.96	0.047

TABLE 3. SOX Specimen TABLE 2 (C)

	LOADING (M.M.)	STRESS (%)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 3)	0.269	34	1.55	0.049
		44	1.55	0.049
		50	1.64	0.049
		59	1.65	0.049
		66	1.69	0.049
		74	1.73	0.049
(No. 4)	0.320	35	4.37	0.05
		41	4.63	0.05
		51	4.64	0.05
		56	4.63	0.05
		63	4.74	0.05
		71	4.75	0.05
(No. 5)	0.208	35	3.34	0.043
		41	3.41	0.043
		48	3.42	0.043
		56	3.47	0.043
		67	3.51	0.043
		77	3.53	0.043

0011483 EN Specimen $\frac{1}{2}$ (No.)

0011483 (H.H.)	$\frac{1}{2}$ (°S)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 6) 0.262	35	5.40	0.052
	39	5.72	0.052
	44	5.75	0.052
	49	5.80	0.052
	55	5.87	0.052
	68	5.93	0.052
	73	6.02	0.052
	77	6.10	0.050
(No. 7) 0.561	36	5.05	0.056
	40	5.08	0.056
	46	5.10	0.056
	52	5.17	0.056
	57	5.13	0.056
	62	5.23	0.056
	72	5.51	0.056

00000 3 200 Sv. cin n 1000 3

PVC 100 Imperial Chemical Industries

ความหนา (ม.ม.)	ความถี่ (°C)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 1) 0.519	32	5.55	0.058
	40	5.54	0.058
	52	5.50	0.056
	62	5.59	0.054
	65	5.68	0.053
	74	5.80	0.050
(No. 2) 0.335	36	3.82	0.061
	41	3.825	0.062
	46	3.86	0.062
	57	3.86	0.062
	60	3.90	0.062
	65	3.92	0.058
	70	3.94	0.053
	75	3.96	0.050
	80	3.98	0.049
86	4.01	0.048	

การทดสอบ Specimen หมายเลข 3 (๓)

การทดสอบ (No.)	จุดเริ่มต้น (°C)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 3) 0.254	32	3.58	0.052
	34	3.60	0.054
	41	3.615	0.054
	46	3.63	0.051
	51	3.66	0.050
	58	3.67	0.050
	62	3.68	0.049
	68	3.73	0.049
	73	3.74	0.049
	78	3.79	0.048
(No. 4) 0.753	82	3.82	0.046
	31	5.43	0.068
	36	5.46	0.068
	43	5.51	0.065
	51	5.55	0.064
	58	5.57	0.064
	67	5.61	0.063
	67	5.64	0.062
70	5.68	0.062	

ตารางที่ 3 ค่า Specimen ชนิด 3 (ต่อ)

ความหนา (ม.ม.)	อุณหภูมิ (°C)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 4) 0.755	76	5.73	0.061
	81	5.77	0.061
	86	5.77	0.061
(No. 5) 0.742	32	5.56	0.060
	36	5.64	0.062
	43	5.65	0.062
	51	5.69	0.062
	59	5.73	0.062
	63	5.73	0.062
	71	5.80	0.062
	77	5.81	0.058
	80	5.82	0.058
	86	5.90	0.058
(No. 6) 0.478	32	4.75	0.066
	38	4.77	0.066
	47	4.80	0.066
	53	4.86	0.067
	59	4.865	0.067
	67	4.86	0.066
	73	4.87	0.065
	78	4.92	0.064
	84	4.93	0.064

009100 3 UN Specimen 0091 4

PE 0091 0091 U.S. Industrial Chemicals

ความหนา (ม.ม.)	ความถี่ (°)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 1) 0.384	30.5	2.42	0.0125
	35	2.44	0.01
	50	2.446	0.01
	56	2.449	0.01
	62	2.449	0.015
	66	2.46	0.014
	72	2.464	0.013
	78	2.48	0.014
	83	2.485	0.015
(No. 2) 0.223	30.5	1.85	0.01
	40	1.86	0.013
	50	1.865	0.014
	55	1.87	0.014
	63	1.875	0.014
	72	1.88	0.014

המספר 3 Specimen 4 (10)

המספר (מ.ג.)	הזווית (°)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 3) 0.473	30	2.52	0.017
	36	2.52	0.017
	45	2.538	0.017
	51	2.55	0.017
	60	2.555	0.017
	67	2.56	0.019
	75	2.575	0.024
(No 4) 0.4195	30	2.28	0.006
	35	2.282	0.006
	41	2.29	0.006
	50	2.302	0.008
	57	2.31	0.008
	64	2.314	0.008
	71	2.330	0.010

ตารางที่ 3 และ Specimen ตารางที่ 4 (ต่อ)

ความหนา (ม.ม.)	อุณหภูมิ (องศา)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 5) 0.354	30	2.65	0.007
	35	2.85	0.008
	47	2.85	0.008
	54	2.87	0.008
	64	2.51	0.014
	70	2.51	0.014
(No 6) 0.433	30	2.52	0.009
	35	2.524	0.009
	46	2.524	0.012
	54	2.525	0.012
	60	2.525	0.012
	65	2.527	0.012
	72	2.540	0.012

စာနာရန် 3 229 Specimen 22984 (ဂ)

အမှတ် (ဂ.ဂ.)	အမှတ် (ဂ.ဂ.)	\bar{C}_r	ton
(No. 7) 0.4113	30	2.37	0.01
	35	2.375	0.01
	40	2.380	0.01
	45	2.390	0.01
	51	2.395	0.01
	56	2.400	0.013
	61	2.410	0.014
"	65	2.420	0.014
	71	2.425	0.015

การทดลองที่ 3 MIS Specimen 3.4 5

FVC มีผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นหรือไม่

ความหนา (ม.ม.)	จุดดงมี (%)	E_r	ค่า σ
(No. 1) 0.483	33	4.58	.062
	41	4.64	.062
	47	4.643	.062
	54	4.700	.062
	59	4.750	.062
	64	4.760	.062
	68	4.820	.062
	72	4.837	.062
	77	4.92	.062
	81	4.94	.062
(No. 2) 0.582	82.5	5.07	.065
	37	5.11	.063
	43	5.17	.065
	49	5.18	.065
	56	5.24	.065
	61	5.27	.065
	69	5.38	.065
	76	5.48	.065
	80	5.52	.065

ตารางที่ 3 ของ Specimen ชนิดที่ 5 (กต)

ความหนา (ม.ม.)	อุณหภูมิ (°C)	E_r	$\tan \delta$
(No. 4) 0.416	35	4.08	.063
	41	4.13	.063
	47	4.6	.063
	52	4.18	.063
	58	4.23	.064
	63	4.25	.064
	69	4.30	.064
	75	4.37	.064
	80	4.45	.064
(No. 5) 0.3175	34	3.482	.057
	41	3.520	.057
	50	3.560	.057
	58	3.610	.054
	64	3.620	.054
	71	3.660	.054
	76	3.720	.054
	81	3.745	.054

specimen 1.05 (13)

specimen (M.M.)	$\frac{d_1}{d_2}$ (%)	ϵ_r	tan δ
(No. 6) 0.42375	32	4.04	.062
	39	4.09	.063
	4	4.13	.064
	54	4.16	.064
	60	4.23	.064
	68	4.29	.064
	75	4.35	.064
	80	4.43	.064
(no. 7) 0.425	34	3.98	.066
	41	4.04	.066
	49	4.09	.066
	57	4.14	.066
	64	4.19	.066
	69	4.25	.066
	75	4.31	.066
	80	4.36	.066

Specimen No. 3 Specimen No. 5

Strain (in. in.)	Stress (psi)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 9) 0.254	34	3.106	.055
	40	3.10	.059
	45	3.12	.059
	52	3.16	.057
	58	3.163	.057
	62	3.190	.057
	68	3.240	.057
	72	3.310	.057
	76	3.340	.057
	(No. 10) 0.413	45	4.60
45		4.62	.063
50		4.64	.063
56		4.66	.063
61		4.72	.063
68		4.77	.063
73		4.80	.064
80		4.91	.064

TABLE 3.138 Specimen No. 5 (C.)

Specimen No. (No.)	Angle θ (°)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 11) 0.315	35	3.14	.058
	40	3.16	.059
	46	3.18	.059
	54	3.22	.059
	60	3.24	.058
	70	3.28	.058
	75	3.32	.056
	80	3.35	.056
(No. 13) 0.718	33	5.16	.071
	39	5.20	.071
	50	5.27	.071
	56	5.34	.071
	65	5.36	.071
	70	5.45	.071
	75	5.50	.071
	80	5.54	.071

- 11 -

အာရှတိုက် ညောင်ပင်ချော ၂၅၆၅ (၁)

အမှတ်အသား (ဂရမ်)	အရွယ် (ပေ)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 14) 0.953	35	3.08	.057
	39	3.11	.057
	46	3.14	.057
	54	3.16	.057
	60	3.21	.057
	65	3.22	.057
	72	3.27	.057
	96	3.28	.057
	30	3.30	.057
(No. 15) 1.463	35	8.10	.076
	41	8.20	.076
	56	8.29	.076
	58	8.36	.076
	63	8.42	.076
	75	8.63	.076
	81	8.64	.076

การวัด 310. Specimen 310. 6

PVC Natural 310. 6. Samitomo

การวัด (M.M.)	ความถี่ (%)	Z_r	ค่า δ
(No. 1) 0.386	30	3.85	0.054
	39	3.89	0.054
	45	3.91	0.055
	50	3.93	0.055
	56	3.96	0.055
	60	3.97	0.055
	65	4.00	0.055
	70	4.04	0.055
(No. 2) 0.407	33	3.657	0.059
	36	3.663	0.060
	42	3.680	0.060
	48	3.700	0.062
	54	3.730	0.062
	61	3.765	0.062
	65	3.79	0.062
	70	3.82	0.062

ตารางที่ 3 ของ Specimen ที่ 6 (ต่อ)

ความยาว (ม.ม.)	อุณหภูมิ (°C)	$\bar{\epsilon}_T$	ϵ_m (%)
(No. 3) 0.224	32	3.24	0.052
	38	3.245	0.052
	43	3.25	0.053
	50	3.255	0.053
	56	3.260	0.053
	63	3.268	0.053
	71	3.275	0.053
(No. 5) 0.326	34	3.765	0.06
	41	3.77	0.06
	46	3.79	0.06
	51	3.81	0.06
	58	3.86	0.06
	64	3.88	0.06
	70	3.92	0.06

03783 3 204 Specimen 03786 6 (12)

Position (M.M.)	Angle (°)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 6) 0.405	30	4.02	0.051
	35	4.03	0.052
	41	4.11	0.053
	48	4.125	0.053
	55	4.16	0.053
	61	4.18	0.053
	65	4.23	0.053
	70	4.26	0.053
(No. 7) 0.338	32	3.74	0.054
	41	3.75	0.054
	47	3.755	0.054
	53	3.78	0.054
	61	3.79	0.054
	66	3.82	0.054
	70	3.84	0.054

101791 3.04 Specimen 101791 8

FVS 101791 3.04 Specimen 101791 8

101791 3.04 (1.3.1)	Specimen (°F)	σ_r	tau σ_r
(No.1) 3.510	32	4.83	.061
	36	4.86	.061
	4	4.88	.062
	50	4.89	.064
	56	4.95	.063
	63	5.01	.062
	68	5.02	.062
	73	5.07	.059
	77	5.12	.059
	82	5.13	.059
(No.2) 1.279	31.5	3.45	.057
	40	3.47	.057
	46	3.48	.057
	50	3.50	.056
	57	3.61	.056
	67	3.63	.055
	74	3.68	.055
	79	3.70	.054
	86	3.77	.054

Table 3. 224 Specimens No. 3 (No.)

Specimen No. (No.)	Depth (ft.)	\bar{S}_r	$\tan \delta$
(No. 3) 0.400	32	4.26	.078
	36	4.32	.081
	41	4.38	.090
	51	4.43	.092
	57	4.47	.092
	62	4.49	.090
	69	4.52	.087
	75	4.54	.083
	80	4.57	.077
	86	4.59	.067
(No. 4) 0.312	34	3.80	.059
	38	3.93	.061
	45	3.96	.059
	51	3.97	.058
	58	4.02	.058
	64	4.07	.058
	72	4.10	.058
	77	4.14	.058
85	4.18	.058	

Table 3. 394 Specimen data 3 (no)

no. 394 (No. 5)	θ (°)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 5) 0.531	32	5.03	.064
	33	5.08	.065
	46	5.09	.065
	53	5.15	.063
	59	5.18	.063
	65	5.22	.063
	70	5.27	.063
	76	5.33	.063
	81	5.39	.063
(No. 6) 0.399	33	4.27	.058
	38	4.28	.057
	44	4.31	.057
	51	4.35	.055
	58	4.37	.055
	65	4.40	.055
	72	4.43	.054
	77	4.47	.054
82	4.52	.054	

Table 3.358 Dielectric Properties of Polystyrene

Frequency (Hz)	Temperature (°C)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 7) 0.418	35	4.81	.059
	41	4.82	.062
	48	4.86	.062
	56	4.93	.050
	62	4.98	.060
	69	5.025	.059
	75	5.10	.059
	81	5.23	.059

Table 3 for Specimen No. 11
for σ_{cr} (ksi) vs. $\tan \delta$ (in.)

No. of (in.)	σ_{cr} (ksi)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 3) 0.293	35	3.67	0.063
	40	3.72	0.063
	48	3.74	0.063
	57	3.79	0.063
	64	3.81	0.063
	69	3.88	0.063
(No. 4) 0.349	35	3.75	0.060
	39	3.78	0.060
	47	3.82	0.060
	55	3.83	0.060
	60	3.87	0.060
	68	3.91	0.060
	73	3.95	0.060

TABLE 3. Soil Specimen Data 11 (in)

ความสูง (ม.ม.)	ความดัน (σ_v)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 5) 0.453	35	4.68	0.060
	40	4.71	0.060
	46	4.73	0.060
	52	4.76	0.060
	60	4.79	0.060
	66	4.84	0.060
	70	4.87	0.060
(No. 6) 0.477	36	5.12	0.062
	42	5.14	0.062
	47	5.17	0.062
	51	5.20	0.062
	59	5.26	0.062
	65	5.28	0.062
	70	5.33	0.062

ตารางที่ 3.28. Specimen 306.1 (00)

ความหนา (ม.ม.)	จุดวัด (°F)	ϵ_r	$\tan \delta$
(No. 2) 0.548	33	4.94	0.062
	38	4.98	0.062
	45	5.01	0.062
	50	5.04	0.062
	55	5.07	0.062
	60	5.13	0.062
	66	5.15	0.062
	70	5.20	0.062

Table 4. HCl Specimen No. 1
PVC film ผลิตโดย Imperial Chemical Industries

หมายเลข (N.O.)	Applied Voltage	อุณหภูมิ (°C)	ρ (I.D.M.-CM.)
(No.5) 0.296	100	31.8	2.25 x 10 ¹³
	200	31.8	2.23 x 10 ¹³
	300	31.8	2.19 x 10 ¹³
	400	31.8	2.09 x 10 ¹³
	100	35.5	1.54 x 10 ¹³
	200	35.5	1.49 x 10 ¹³
	300	35	1.45 x 10 ¹³
	400	35	1.38 x 10 ¹³
	100	41.0	1.07 x 10 ¹³
	200	40.2	1.00 x 10 ¹³
	300	40.0	0.95 x 10 ¹³
	400	40.0	0.86 x 10 ¹³
	100	44.0	0.92 x 10 ¹³
	200	44.0	0.76 x 10 ¹³
	300	44.0	0.645 x 10 ¹³
	400	44.0	0.565 x 10 ¹³

Table 4. 224 Specimen 1 (20)

Specimen (No.)	Applied Voltage	Temperature (°C)	σ (lb./sq. in.)
(No. 4) 9.208	100	32.5	11.5 x 10 ¹³
	200	32.5	10.89 x 10 ¹³
	300	32.5	9.08 x 10 ¹³
	400	32.5	8.57 x 10 ¹³
	100	34.0	8.96 x 10 ¹³
	200	34.0	8.34 x 10 ¹³
	300	34.5	7.42 x 10 ¹³
	400	34.7	6.73 x 10 ¹³
	100	37.0	6.74 x 10 ¹³
	200	38.2	5.55 x 10 ¹³
	300	38.5	5.23 x 10 ¹³
	400	38.6	4.65 x 10 ¹³
	100	44.0	6.2 x 10 ¹³
	200	44.0	4.62 x 10 ¹³
	300	44.0	3.02 x 10 ¹³
	400	44.0	3.29 x 10 ¹³

TABLE 4. EDX Specimen 1 (No. 5)

Specimen (N.L.)	Applied Voltage	Angle (°)	ρ ($\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$)
(No. 5) C. 329	100	31.0	2.217×10^{12}
	200	31.5	1.554×10^{12}
	300	31.5	2.04×10^{12}
	400	31.5	0.14×10^{12}
	100	36	1.246×10^{12}
	200	38	1.288×10^{12}
	300	40	0.138×10^{12}
	400	40	0.114×10^{12}
	100	44	1.132×10^{12}
	200	44	1.09×10^{11}
	300	44	1.05×10^{11}
	400	44	1.00×10^{11}
	100	49	1.018×10^{12}
	200	50	0.9229×10^{11}
	300	50	0.8569×10^{11}
	400	50	0.797×10^{11}

TABLE A. 22. Specimen 2211 (90)

STRAIN (%)	Applied Voltage	ANGLE (°)	ρ (10 ¹¹ -cm.)
(No. 6)C.466	100	30	1.3986 x 10 ¹²
	200	30	1.4532 x 10 ¹²
	300	30	1.4952 x 10 ¹²
	400	30	1.4994 x 10 ¹²
	100	38	1.31 x 10 ¹²
	200	39	1.377 x 10 ¹²
	300	39	1.293 x 10 ¹²
	400	38.5	1.112 x 10 ¹²
	100	41	1.201 x 10 ¹²
	200	43	1.108 x 10 ¹²
	300	43	1.142 x 10 ¹²
	400	43	1.092 x 10 ¹²
	100	45	1.167 x 10 ¹²
	200	46	1.103 x 10 ¹²
	300	46	1.056 x 10 ¹²
	400	46	1.056 x 10 ¹²

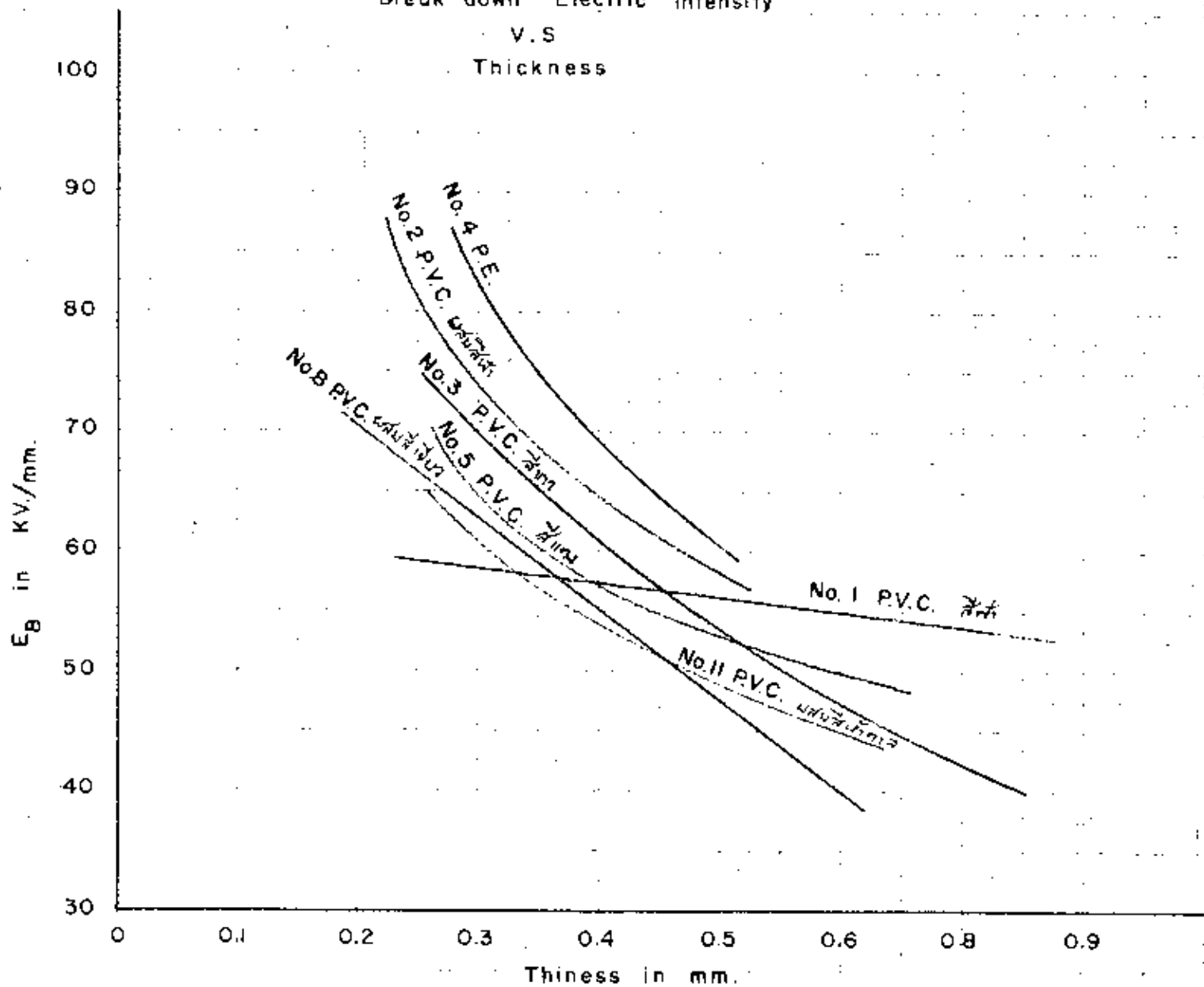
907797 4 994 Specimen 907797 1 (10)

Specimen (No. 7)	Applied Voltage	Temperature (°C)	ρ (10 ¹² -ohm-cm.)
(No. 7) 0.41	100	29	5.82 x 10 ¹²
	200	29	4.9 x 10 ¹²
	300	29	4.33 x 10 ¹²
	400	29	3.9 x 10 ¹²
	100	35	5.47 x 10 ¹²
	200	46	4.52 x 10 ¹²
	300	46	4.1 x 10 ¹²
	400	45	3.8 x 10 ¹²
	100	50	5.15 x 10 ¹²
	200	50	4.33 x 10 ¹²
	300	50	3.86 x 10 ¹²
	400	50	3.59 x 10 ¹²
	100	55	4.52 x 10 ¹²
	200	55.5	3.95 x 10 ¹²
	300	56	3.57 x 10 ¹²
	400	56	3.14 x 10 ¹²

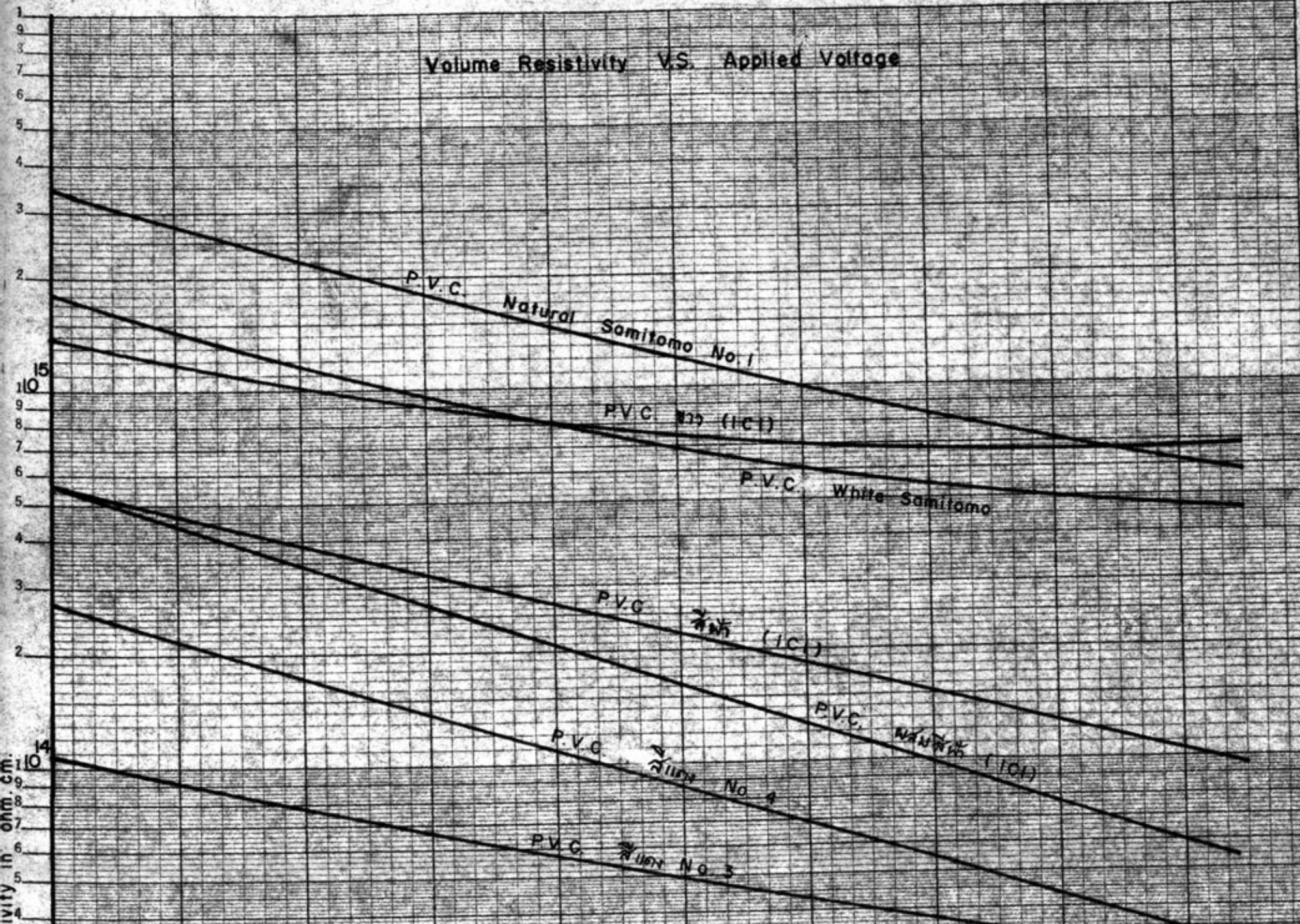
TABLE 4. 203 Specimen No. 1 (10)

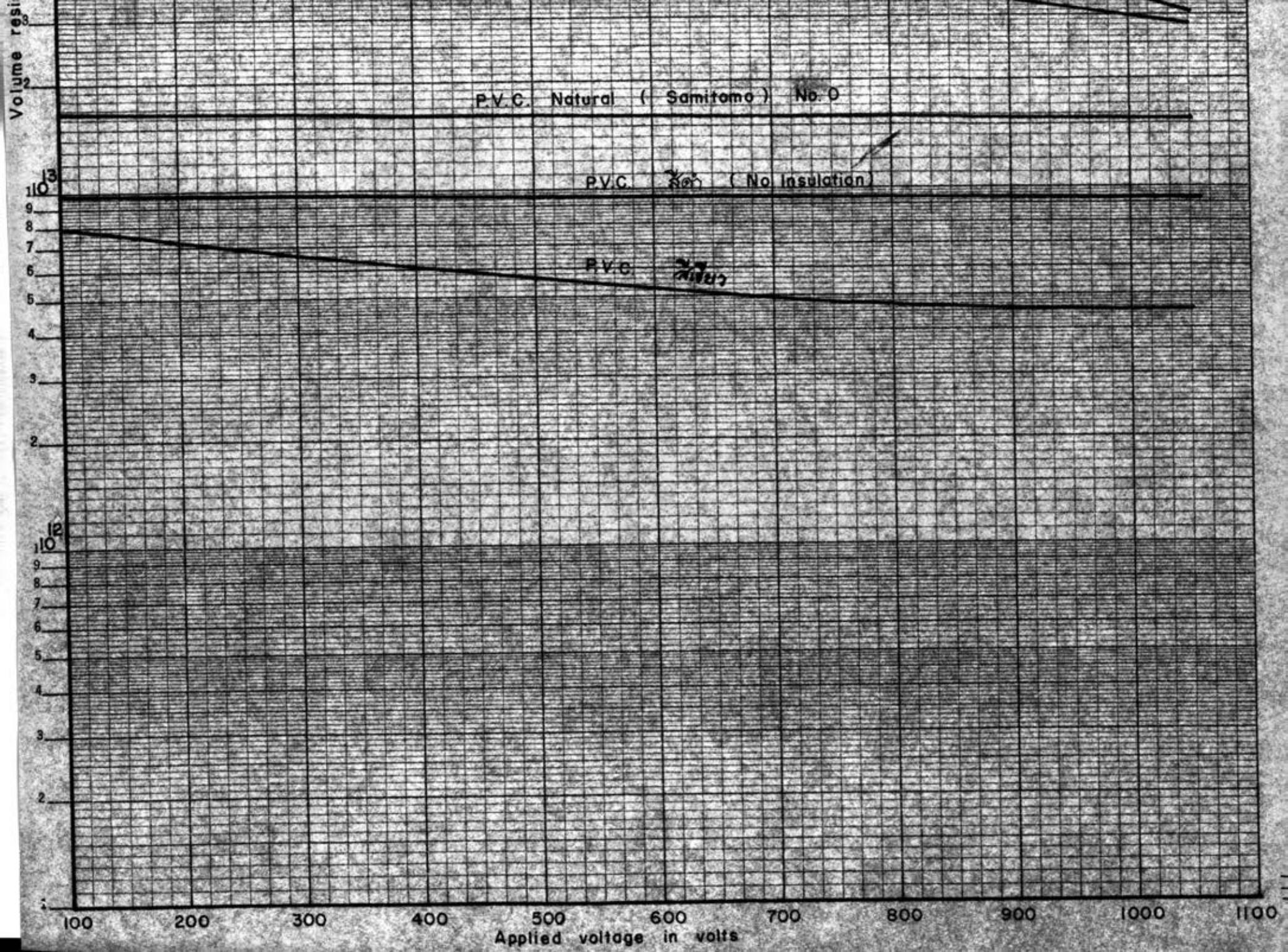
Strain (%)	Applied Voltage	Temp. (°C)	σ (10 ⁸ -DIN.)
(No. 7) 0.41	100	59.5	3.66 x 10 ¹²
	200	59.5	3.19 x 10 ¹²
	300	59.5	2.80 x 10 ¹²
	400	59	2.53 x 10 ¹²
	100	67	3.05 x 10 ¹²
	200	68	2.68 x 10 ¹²
	300	68	2.44 x 10 ¹²
	400	68	2.24 x 10 ¹²

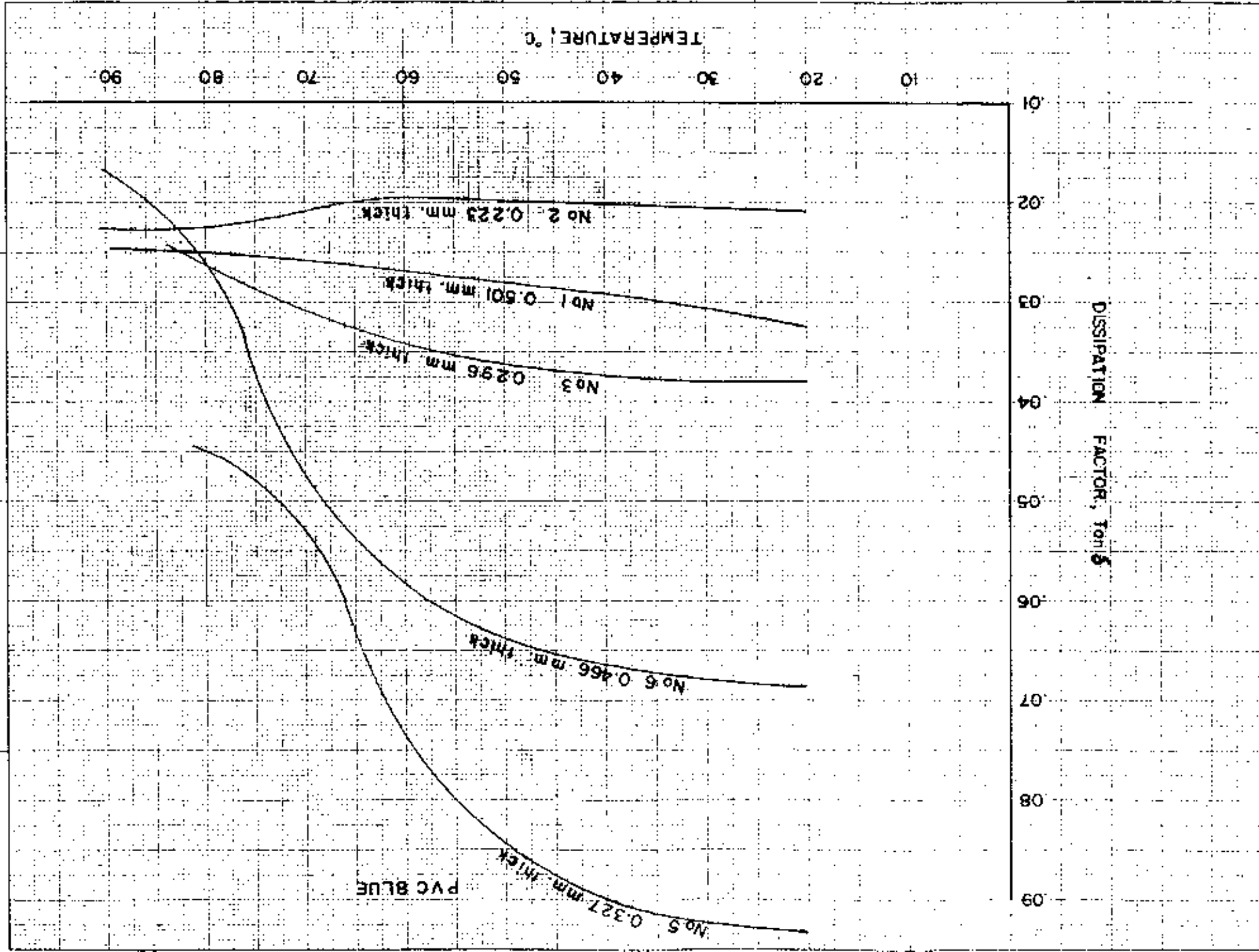
Break down Electric Intensity
 V.S
 Thickness



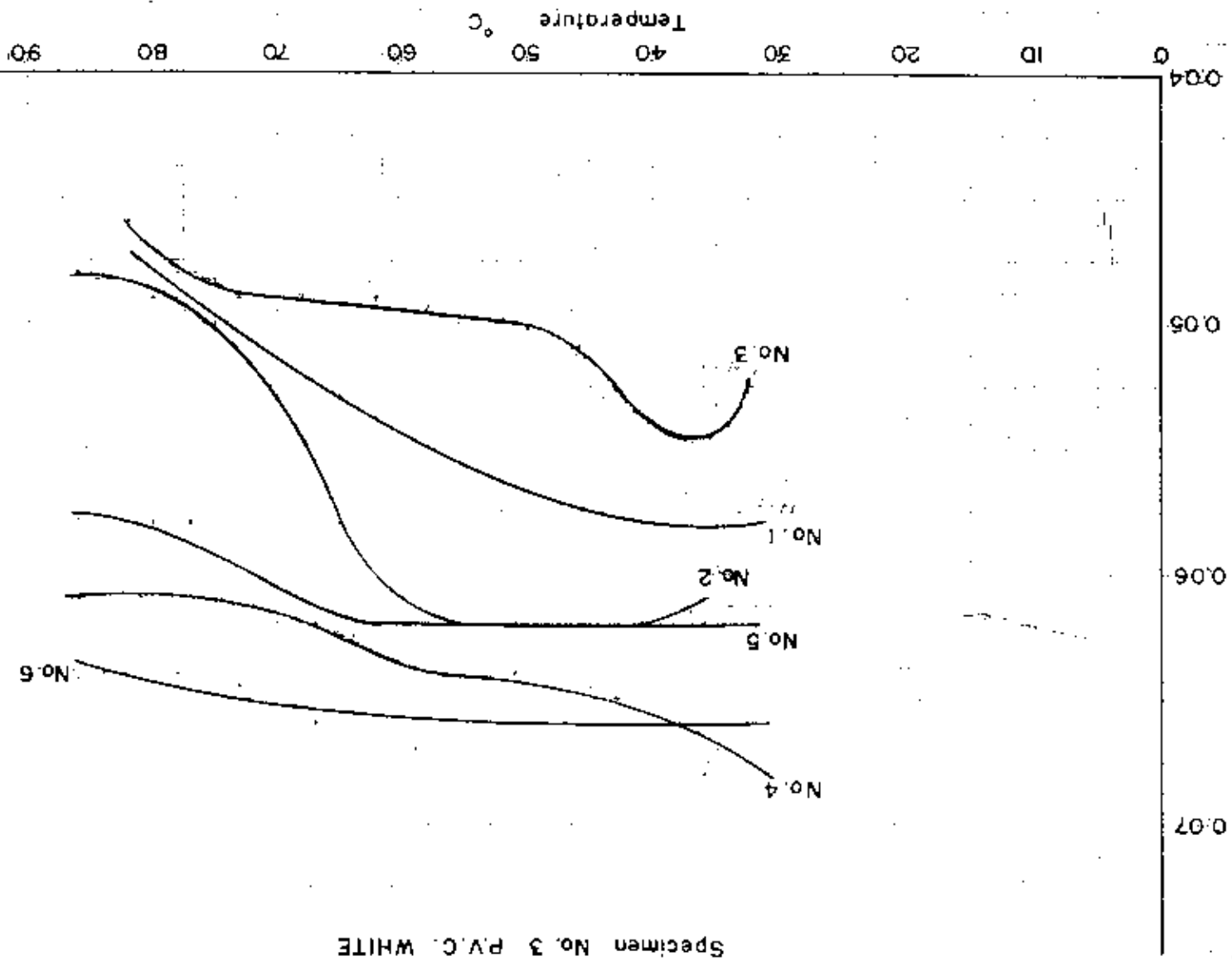
Volume Resistivity V.S. Applied Voltage



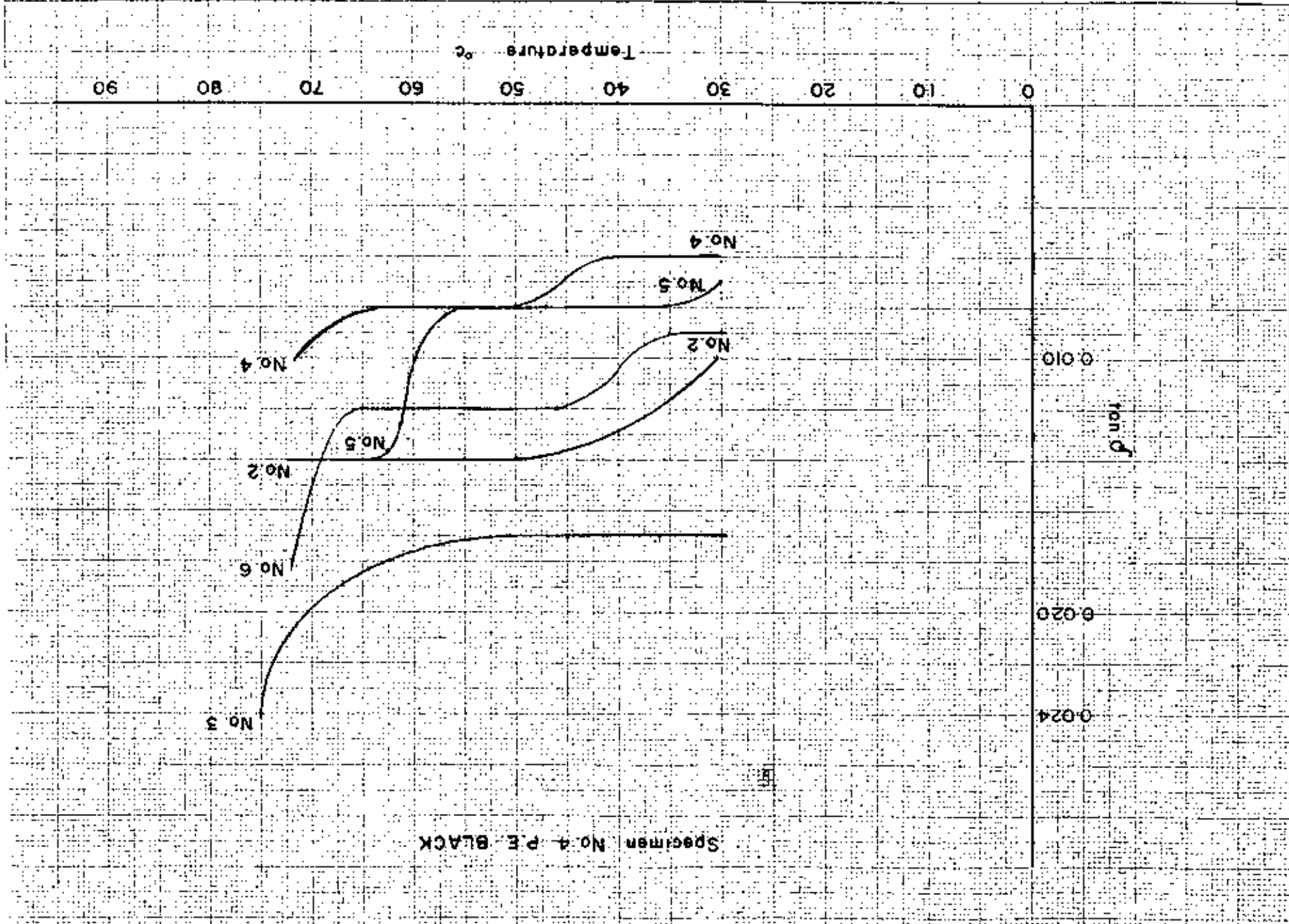


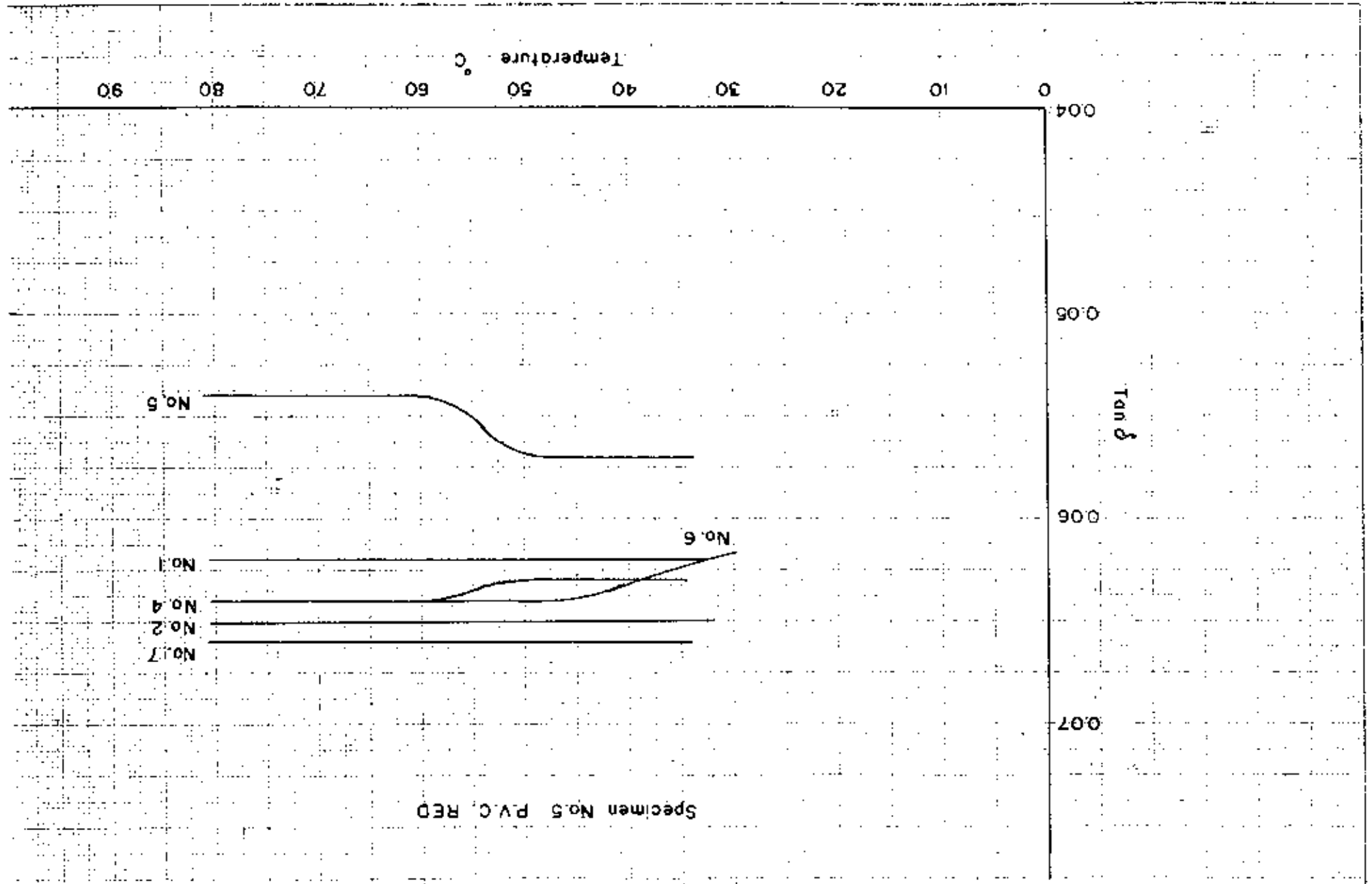


Specimen No. 3 P.V.C. WHITE



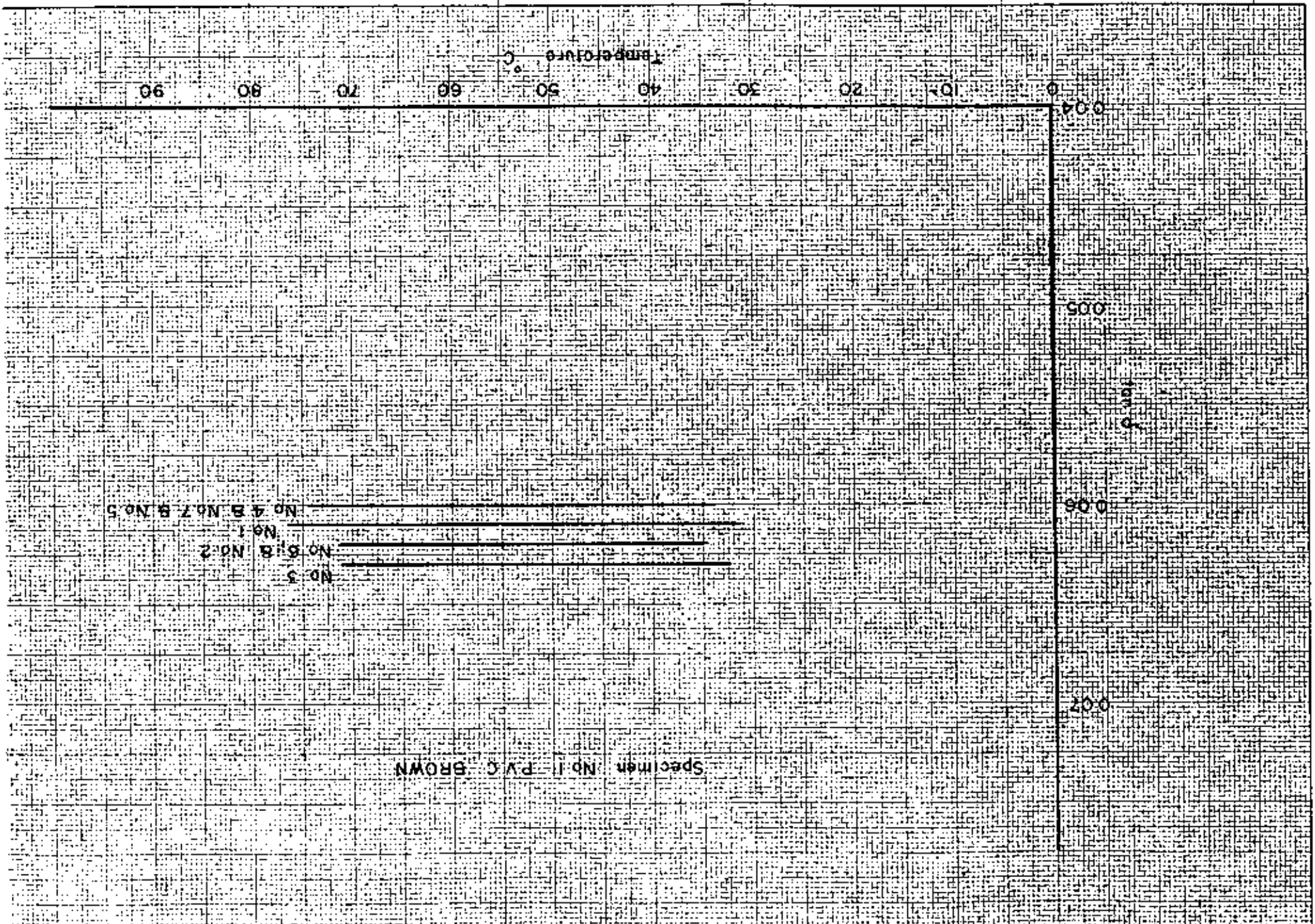
0.04 0.05 0.06 0.07
Ton d
0 20 40 60 80 90
Temperature °C





Specimen No. 5 P.V.C. RED

No. 1
No. 2
No. 4
No. 5
No. 6



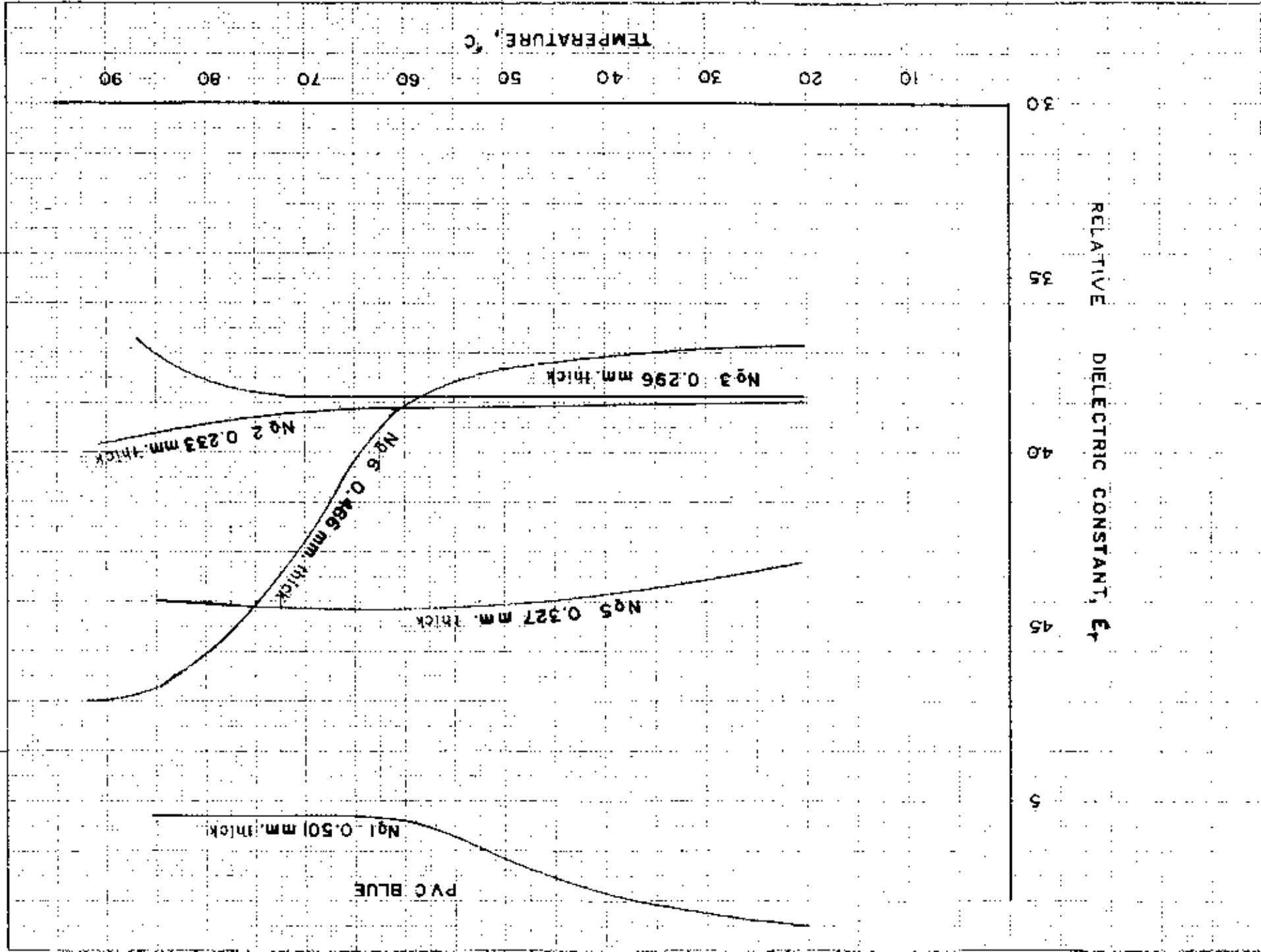
Specimen No. 1 P.V.C. BROWN

NO. 3

NO. 5, 8, NO. 2

NO. 1

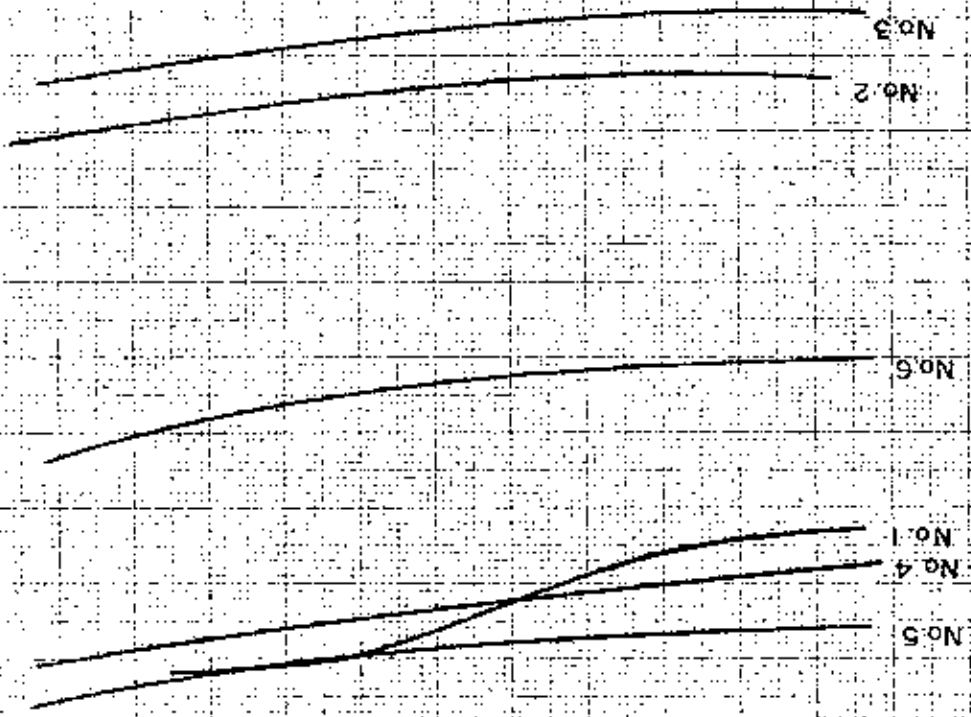
NO. 4, 5, 7, 8, NO. 5



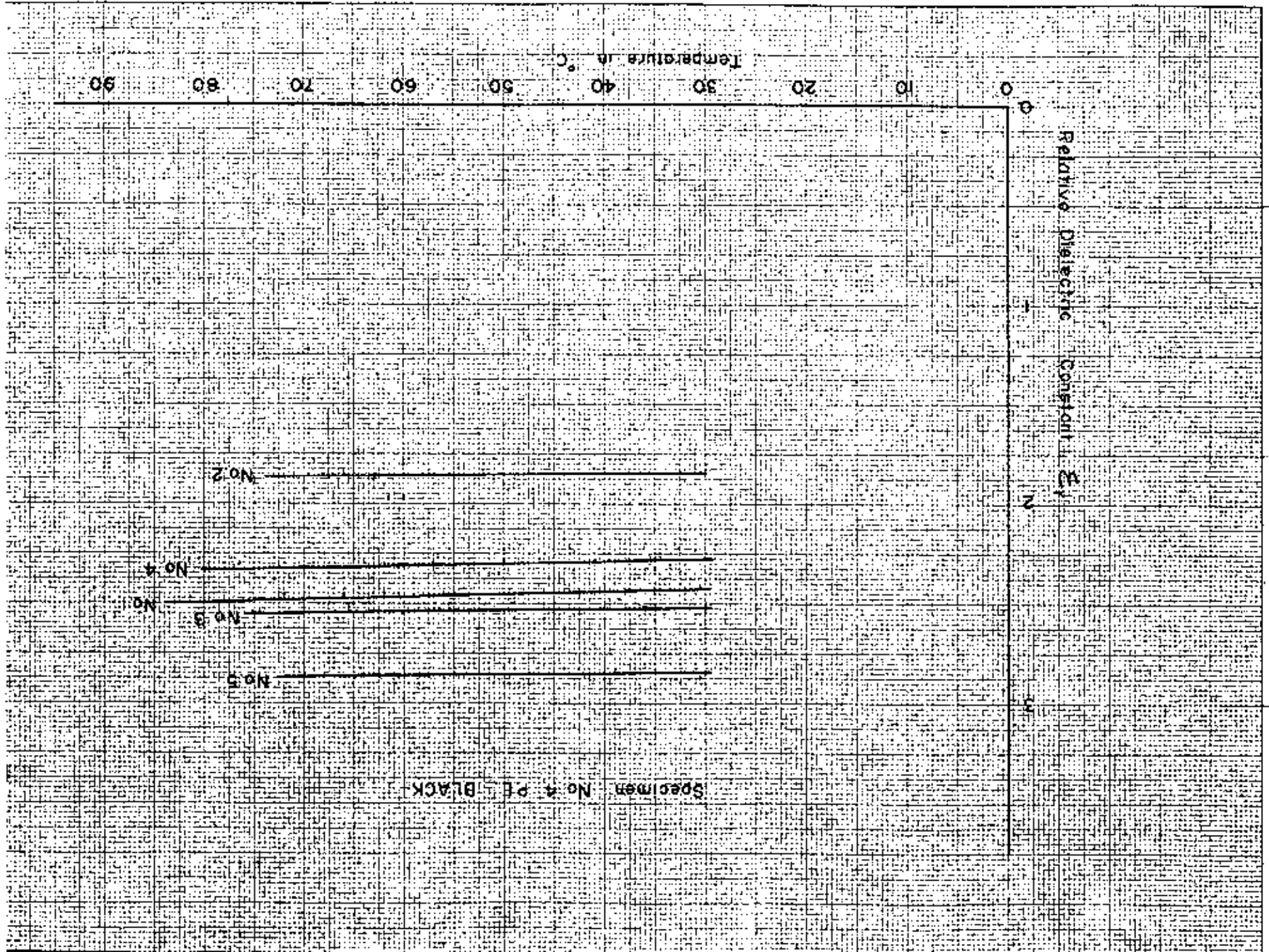
Temperature °C

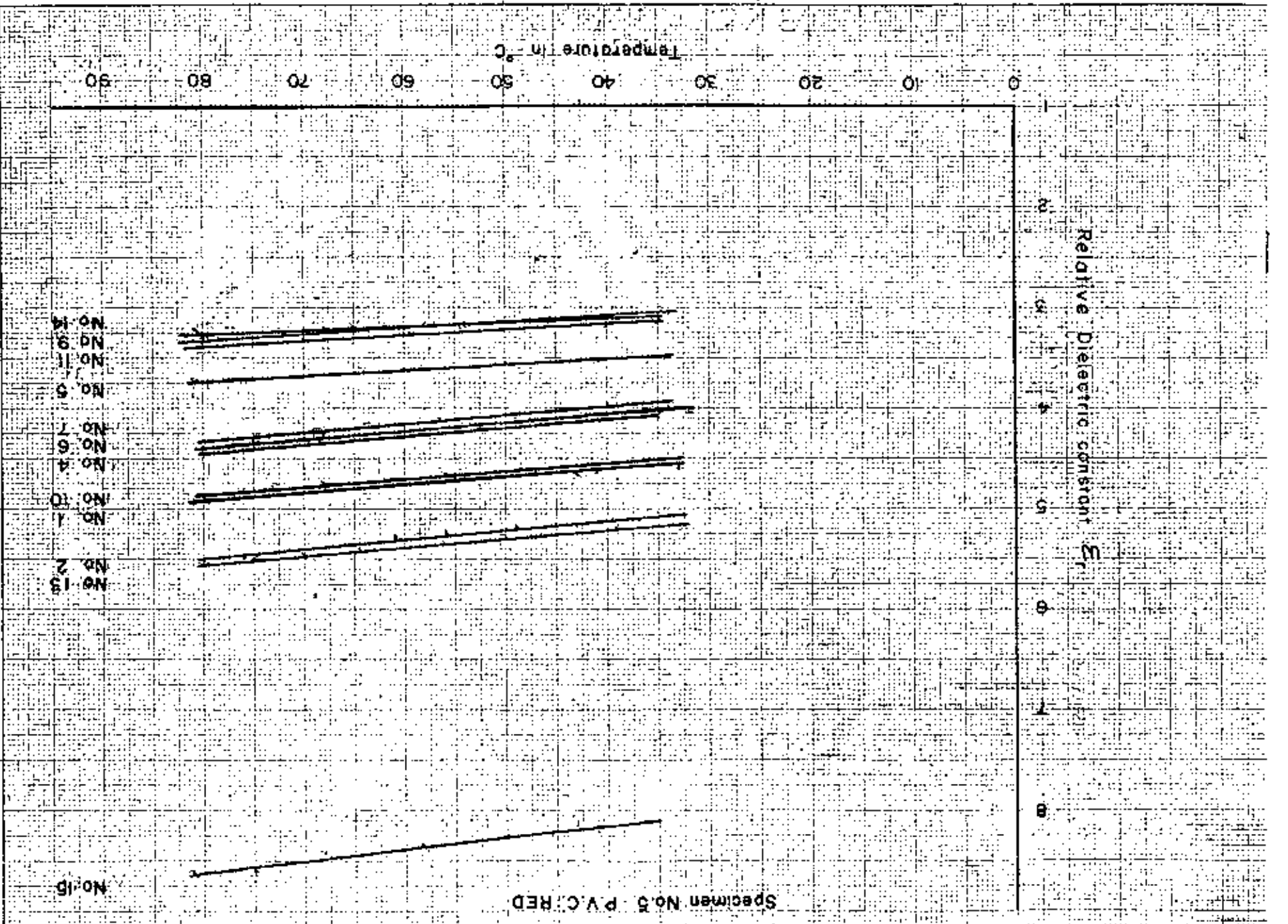
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

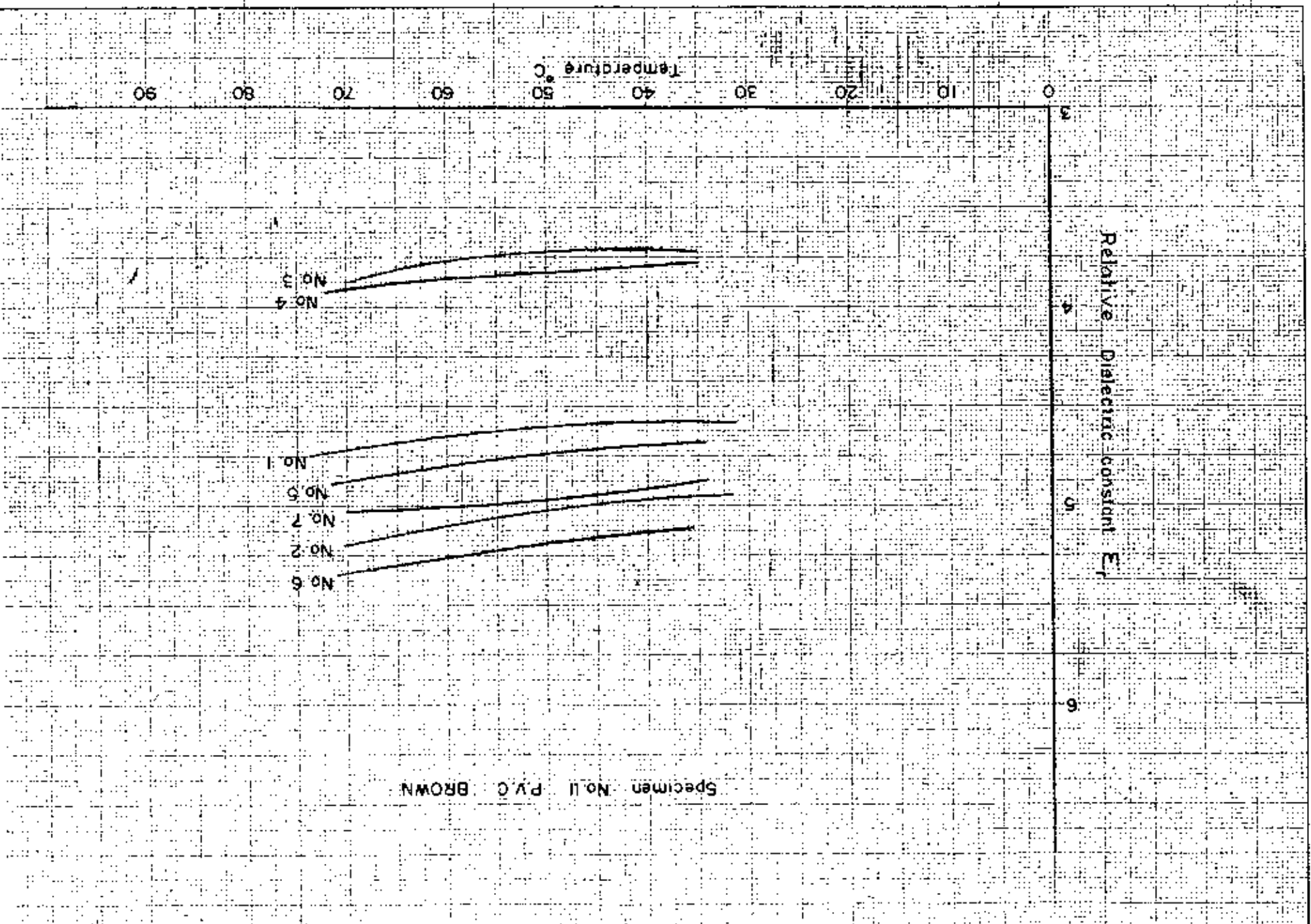
Relative Dielectric Constant ϵ_r



Specimen No. 3 PVC WHITE



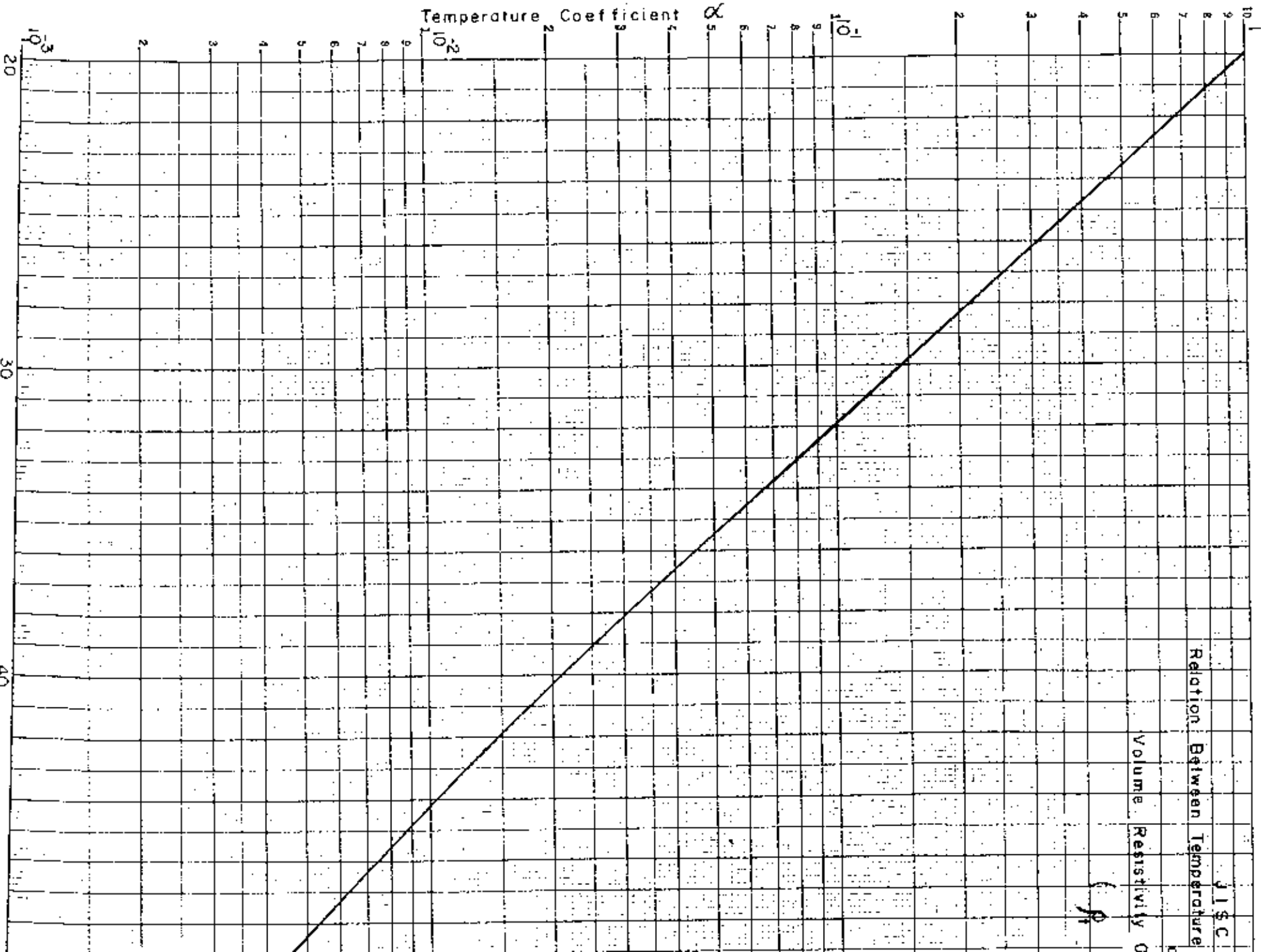




Relation Between Temperature

Volume Resistivity ρ_v

(p)

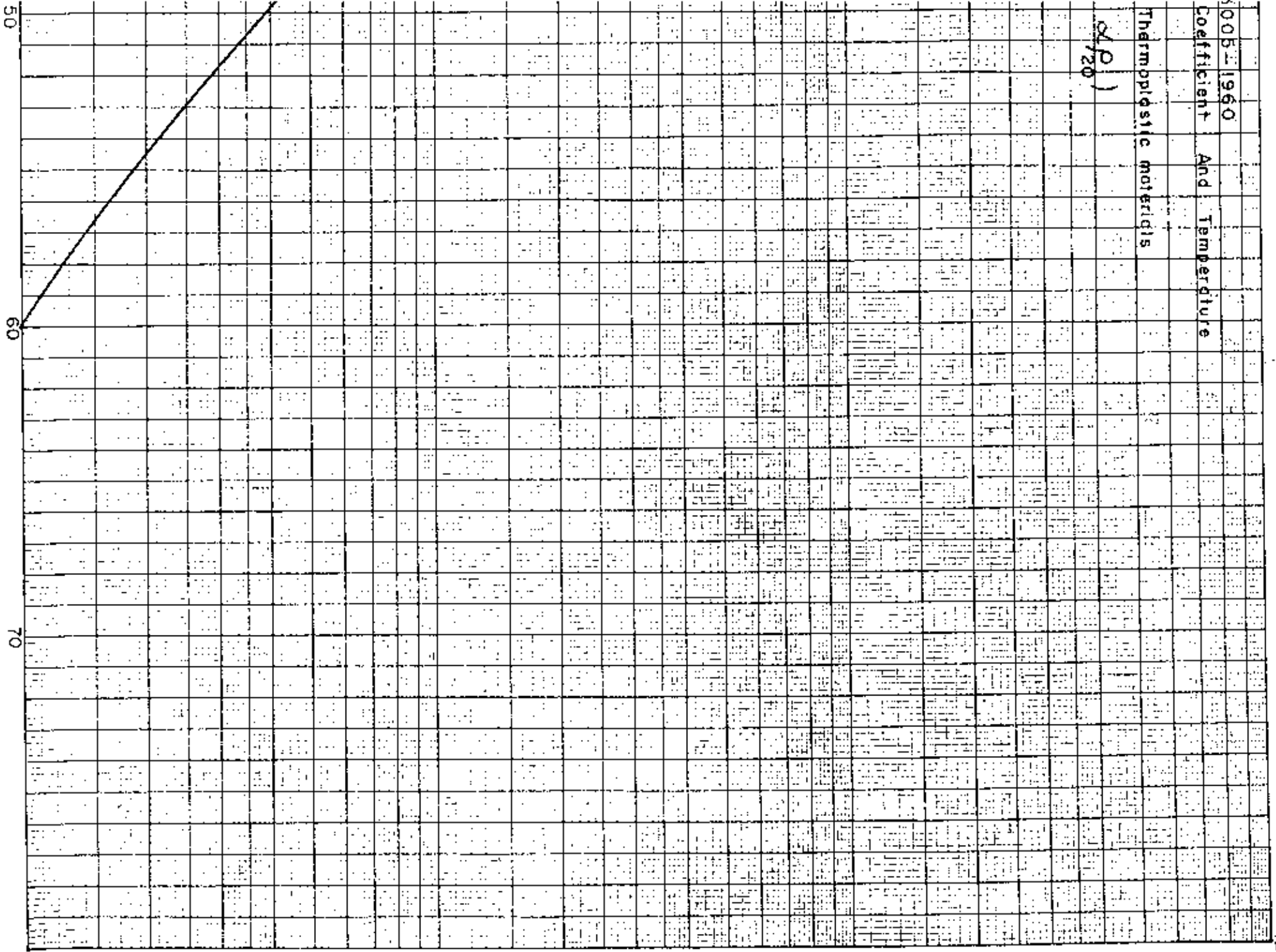


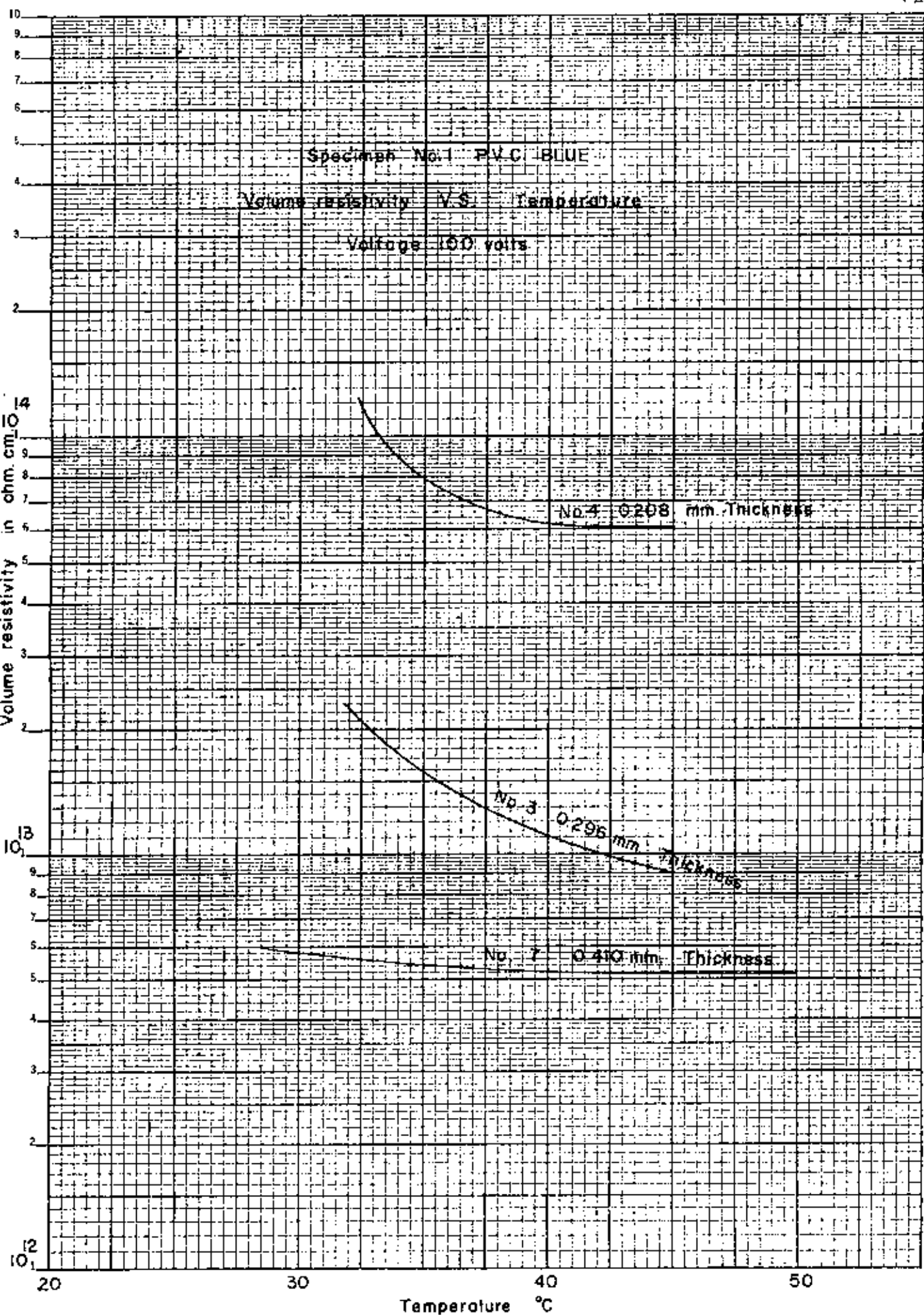
5005-1960

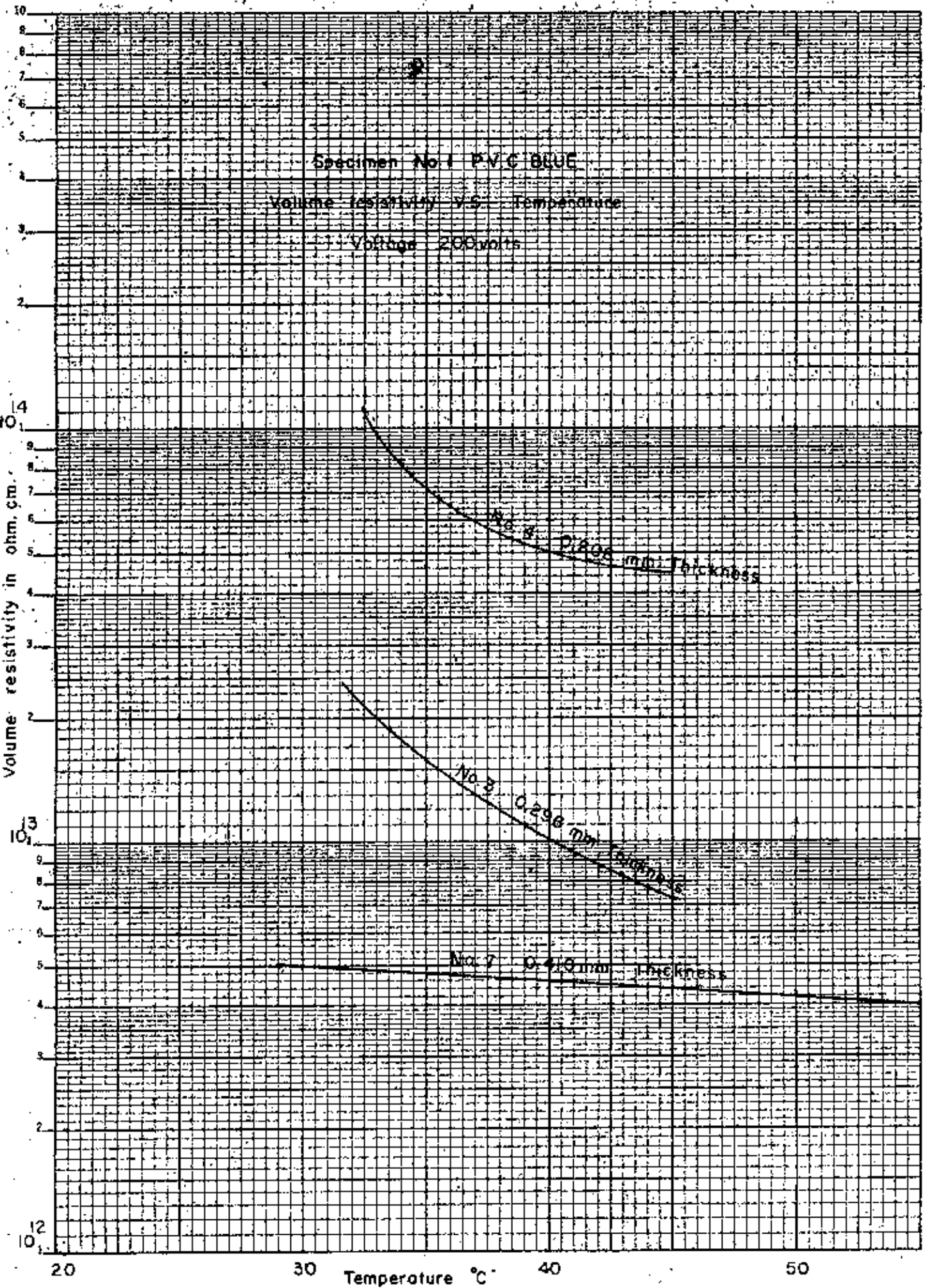
Coefficient And Temperature

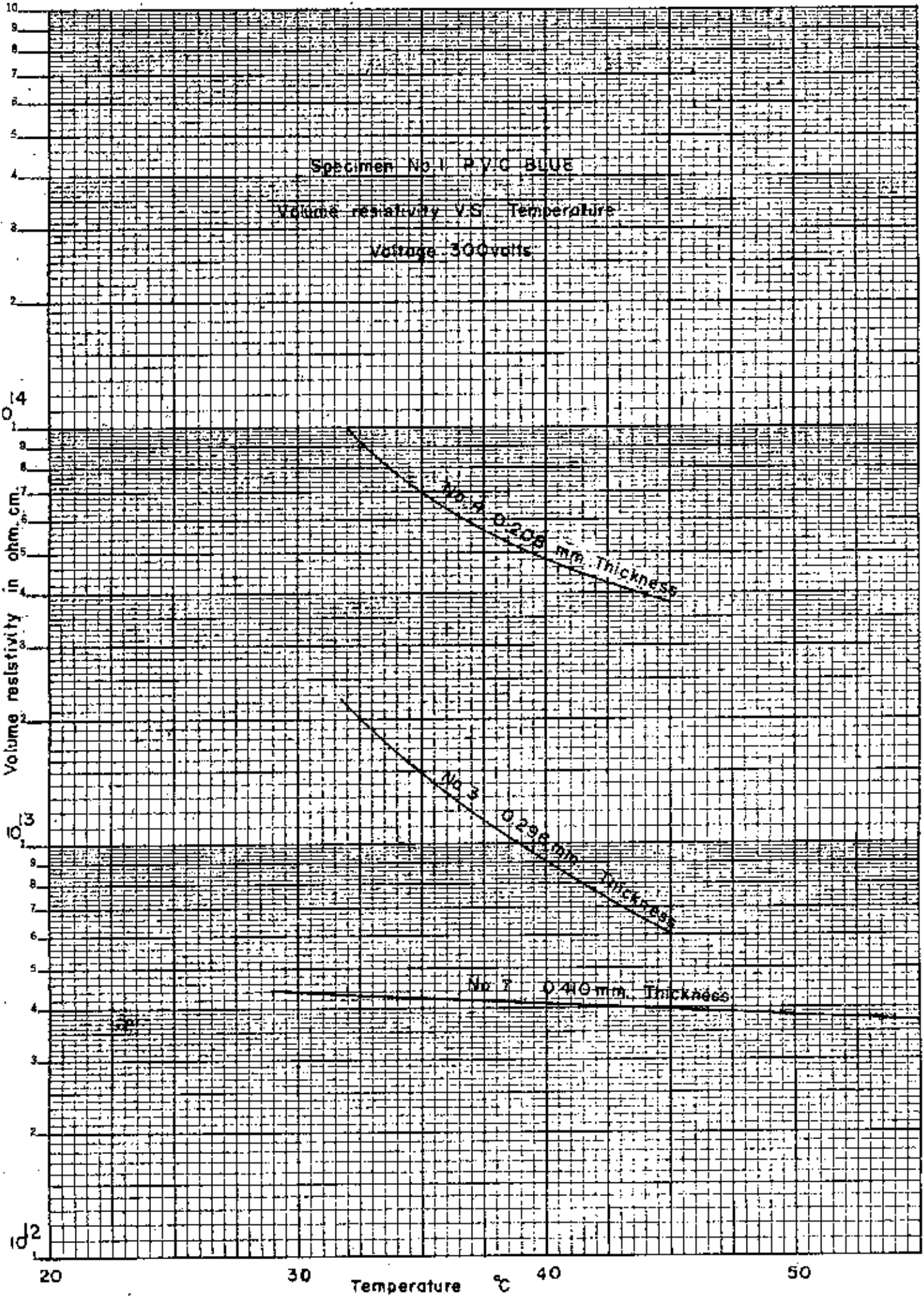
Thermoplastic materials

20
20









Specimen No. 1 - P.V.C. BLUE

Volume resistivity v.s. Temperature

Voltage: 460 volts

